

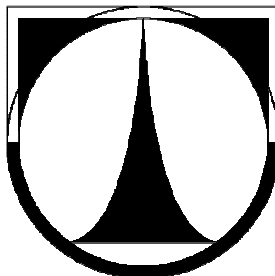
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA TEXTILNÍ

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**LIBEREC 2011**

**JARMIL LAŇKA**

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA TEXTILNÍ



**Studijní program:** Textil – B3107

**Studijní obor:** Technické textilie – 3107R012

**VYUŽITÍ NANOVLÁKEN PPO FILTRACI  
OLEJE VE SPALOVACÍM MOTORU**

**USE NANOFIBERS FOR OIL FILTRATION IN  
THE COMBUSTION ENGINE**

**Autor práce:** Jarmil Laňka

**Vedoucí práce:** Ing. Jakub Hrůza, Ph.D.

Počet stran textu: 40

Počet obrázků: 31

Počet tabulek: 8

Počet grafů: 8

Počet rovnic: 1

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jarmil LAŇKA**  
Osobní číslo: **T08000495**  
Studijní program: **B3107 Textil**  
Studijní obor: **Technické textilie**  
Název tématu: **Využití nanovláken pro filtraci oleje ve spalovacím motoru**  
Zadávající katedra: **Katedra netkaných textilií**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte problematiku filtrace oleje ve spalovacích motorech zejména z pohledu požadavků na filtr a okolních podmínek.
2. Prostudujte podmínky testování vlastností olejových filtrů a možnosti dané stávající Laboratoře filtrace. V případě potřeby navrhnete a realizujete modifikaci stávajícího zařízení.
3. Nalezněte vrstvy s obsahem nanovláken, které svými parametry (tlakový spád, odolnost vůči okolnímu prostředí...) odpovídají použití pro olejový filtr.
4. Porovnejte účinnost filtrace vrstev s obsahem nanovláken se stávajícími materiály.
5. Diskutujte výsledky.

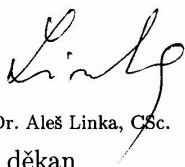
Rozsah grafických prací: 10  
Rozsah pracovní zprávy: 50  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:


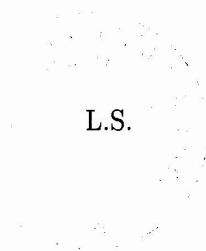
1. Brown, R. C. : Air filtration, Sheffield UK, 1993
2. Wakeman R. J., Tarleton E.S.: Filtration. Elsevier Advanced Technology, Oxford, UK, 1999, ISBN: 1856173453

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jakub Hrůza, Ph.D.  
Katedra netkaných textilií

Datum zadání bakalářské práce: 20. října 2010  
Termín odevzdání bakalářské práce: 2. května 2011



prof. RNDr. Aleš Linka, CSc.  
děkan



doc. Ing. Lenka Martinová, CSc.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 2. listopadu 2010

## **P r o h l á š e n í**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL. V tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím této bakalářské práce.

V Liberci, dne:

.....

Podpis

## **P o d ě k o v á n í**

Tímto chci poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce **Ing. Jakubu Hružovi, Ph.D.** za poskytnutí všech nezbytných náležitostí, jako jsou měřicími přístroje, filtrační materiály, literatura s filtrační tematikou a odborné praktické i teoretické konzultace, bez nichž by toto dílo nevzniklo.

## **Anotace**

Tato práce je zaměřena na problematiku filtrace oleje ve spalovacím motoru a možnost využití nanovlákných materiálů jakožto účinných filtračních médií.

Jsou zde popsány principy mazání a filtrace používané ve spalovacích motorech, vlastnosti motorových olejů a jejich znečištění způsobené provozem motoru, výroba nanovláken a v neposlední řadě i filtrační experimenty prováděné v laboratoři filtrace.

## **Klíčová slova**

Mazání, čerpadlo, filtr, filtrace, olej, nečistoty, nanovlákná

## **Abstract**

This bachelor thesis is focusing on the issue of filtering oil in an internal combustion engine and the use of nanofibers materials as filter media. There are described the principles of lubrication and filtration used in combustion engines, engine oil properties and pollution caused by motor, the production of nanofibers and also filtering experiments conducted in laboratory filtration.

## **Keywords**

Lubrication, Pump, Filter, Filtration, Oil, Impurities, Nanofibers

# **OBSAH**

<b>Úvod:</b> .....	<b>11</b>
<b>1. Mazací systém spalovacího motoru</b> .....	<b>12</b>
1.1 Druhy mazání.....	12
1.1.1 Tlakové oběžné mazání s mokrou skříní .....	12
1.2 Olejová čerpadla .....	13
1.2.1 Zubové čerpadlo .....	13
1.2.2 Excentrické (trochoidní) čerpadlo .....	14
<b>2. Olejové filtry</b> .....	<b>15</b>
2.1 Obtokový filtr (By-pass).....	15
2.1.1 Filtry s dvojím průtokem .....	15
2.1.2 Filtry (spin on) v obtokových systémech.....	16
2.2 Plnoprůtokový filtr.....	16
2.2.1 Kazetový olejový filtr .....	16
2.3 Vložky do olejových filtrů.....	19
2.4 Používané filtrační materiály .....	20
2.5 Testování olejových filtrů.....	21
2.5.1 Multipass test – ISO 16889.....	21
2.5.2 DFE – dynamická účinnost filtrů.....	22
2.6 Účinnost olejových filtrů .....	22
2.7 Životnost olejového filtru .....	22
<b>3. Motorové oleje</b> .....	<b>23</b>
3.1 Mazivost a ochrana proti korozi .....	23
3.2 Detergentní a disperzní vlastnosti.....	24
3.3 Oxidační stabilita .....	25
3.4 Aditivace olejů.....	25
3.5 Viskozita oleje .....	25
3.5.1 Měření viskozity .....	26
3.5.2 Viskozitní třídy .....	27
3.5.3 Změny viskozity důsledkem provozu .....	27
3.5.4 Důsledky změny viskozity .....	28
<b>4. Znečištění oleje vlivem provozu v motoru</b> .....	<b>29</b>
4.1 Částice prachu.....	29



4.2	Saze a jejich tvorba .....	29
4.2.1	Vliv sazí na viskozitu.....	30
4.3	Otěrové kovy.....	30
4.3.1	Příčiny přítomnosti kovů v oleji .....	30
4.3.2	Charakteristické kovy v oleji a jejich zdroje .....	31
4.3.3	Otěrové částice dle druhu opotřebení .....	32
4.3.4	Analýza kovů v oleji .....	34
4.4	Stanovení množství nečistot v oleji .....	35
4.4.1	Kapkový test .....	35
4.4.2	Filtrace přes mikroporézní filtr .....	35
4.4.3	Odstřed'ování nečistot.....	35
4.4.4	Moderní způsoby stanovení nečistot.....	36
<b>5.</b>	<b>Nanovlákná.....</b>	<b>37</b>
5.1	Výroba nanovláken .....	37
5.1.1	Metoda elektrospinning .....	37
5.1.2	Metoda Nanospider.....	38
5.2	Výhody nanovláken při filtračních procesech .....	39
<b>6.</b>	<b>Experimentální část .....</b>	<b>41</b>
6.1	Cíl a popis experimentu .....	41
6.2	Parametry experimentu .....	42
6.2.1	Popis filtrační tratě.....	42
6.2.2	Parametry testovaných vzorků.....	43
6.2.3	Parametry vyhodnocování efektivity .....	44
6.3	Výsledky experimentu .....	45
6.3.1	Ověření filtrační tratě.....	45
6.3.2	Vliv teploty na propustnost nanovláknenných vrstev .....	47
6.3.3	Stanovení efektivity filtrace.....	49
<b>7.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>51</b>
<b>8.</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>52</b>

## Seznam použitých symbolů a zkratek

<b>A</b>	činná plocha filtru
<b>K</b>	koeficient propustnosti
<b>MB</b>	meltblown
<b>SB</b>	spunbond
<b>PU</b>	polyuretan
<b>PA</b>	polyamid
<b>R<sup>2</sup></b>	hodnota spolehlivosti
<b>Pa</b>	Pascal
<b>MPa</b>	mega Pascal
<b>Δp</b>	rozdíl tlaků
<b>°C</b>	stupeň Celsia
<b>%</b>	procento
<b>% hm</b>	hmotnostní procento
<b>s</b>	sekunda
<b>min.</b>	minuta
<b>hod.</b>	hodina
<b>nm</b>	nanometr
<b>μm</b>	mikrometr
<b>mm</b>	milimetr
<b>cm</b>	centimetr
<b>m</b>	metr
<b>km</b>	kilometr
<b>mm<sup>2</sup></b>	milimetr čtverečný
<b>cm<sup>2</sup></b>	centimetr čtverečný
<b>m<sup>2</sup></b>	metr čtverečný
<b>m<sup>3</sup></b>	metr krychlový
<b>g</b>	gram
<b>l</b>	litr
<b>ml</b>	mililitr
<b>tis.</b>	tisíc
<b>kW</b>	kilowatt
<b>TDI</b>	turbo diesel
<b>ppm</b>	"part per <u>m</u> ilion"
<b>atd.</b>	a tak dále
<b>apod.</b>	a podobně
<b>tzv.</b>	takzvané
<b>např.</b>	například

## Úvod:

Zajímáme-li se o novinky v oblasti filtrace oleje ve spalovacích motorech, nelze si nevšimnout zvyšujících se nároku na kvalitu filtrů, respektive filtračních materiálů, které mají za úkol minimalizovat pronikání nečistot do mazacího traktu po značně dlouhou dobu provozu v motoru a při působení velmi agresivních produktů vznikajících termickou degradací oleje při spalování paliva. Tento fakt má za následek neustálý růst trhu s filtračními výrobky a snahu předních výrobců hledat nové možnosti vývoje a vylepšení stávajících olejových filtrů. Dalo by se říci, že každý rok je výrobcem na trh uveden nový typ olejového filtru, který vyniká lepšími vlastnostmi než ten předcházející.

Reálným problémem však zůstává neschopnost v současnosti nejpoužívanějších plnopřtokových filtrů účinně zachycovat částice nečistot o velikostech přibližně pod 10 mikrometrů. Tyto částice při nezachycení filtrem putují dále mazacím traktem až k mazaným místům, kde vlivem abrazivních účinků přispívají ke zvýšenému opotřebení pracovních ploch motoru.

Autor se v této práci zaměřil na možnost využití nanovláken, jakožto filtrů pro velmi účinnou filtraci motorového oleje. Primárním předpokladem zde byl efektivní záchyt částic od velikosti jednoho mikrometru. Celý experiment byl proveden na laboratorním zařízení Katedry netkaných textilií, které mělo za úkol simulovat podmínky v mazací soustavě spalovacího motoru. Testovanými materiály zde byly nanovlákněné vrstvy z polyamidu a polyuretanu na podkladu z polypropylénu, jejichž filtrační vlastnosti jsou blíže zhodnoceny v experimentální části této práce.

## 1. Mazací systém spalovacího motoru

Mazací systém má za úkol zajistit dostatečné zásobení všech pohyblivých součástí motoru olejem. Na styčných plochách se vlivem mazání tvoří vrstva kluzného olejového filmu, který výrazně snižuje tření mezi součástmi a s ním i související opotřebení a ztráty energie. Příkladem jsou ložiska uložení klikového hřídele, ložiska vačkového hřídele, kluzná ojnicí ložiska, stěny válců po kterých se pohybuje píst s kroužky a podobně. Stěny válců a ložiska pístních čepů jsou mazána odstříkem oleje od rotujícího klikového hřídele.

*Dalšími úkoly mazací soustavy jsou:*

- Odvod tepla z povrchu mazaných součástí.
- Odplavování otěrem vzniklých částic a nečistot vzniklých spalovacím procesem.
- Ochrana proti korozi a tlumení hluku vzniklého při chodu motoru.
- Jemné dotěsnění spalovacího prostoru (těsnící olejový film mezi stěnou válce a dosedacími plochami pístních kroužků). [7]

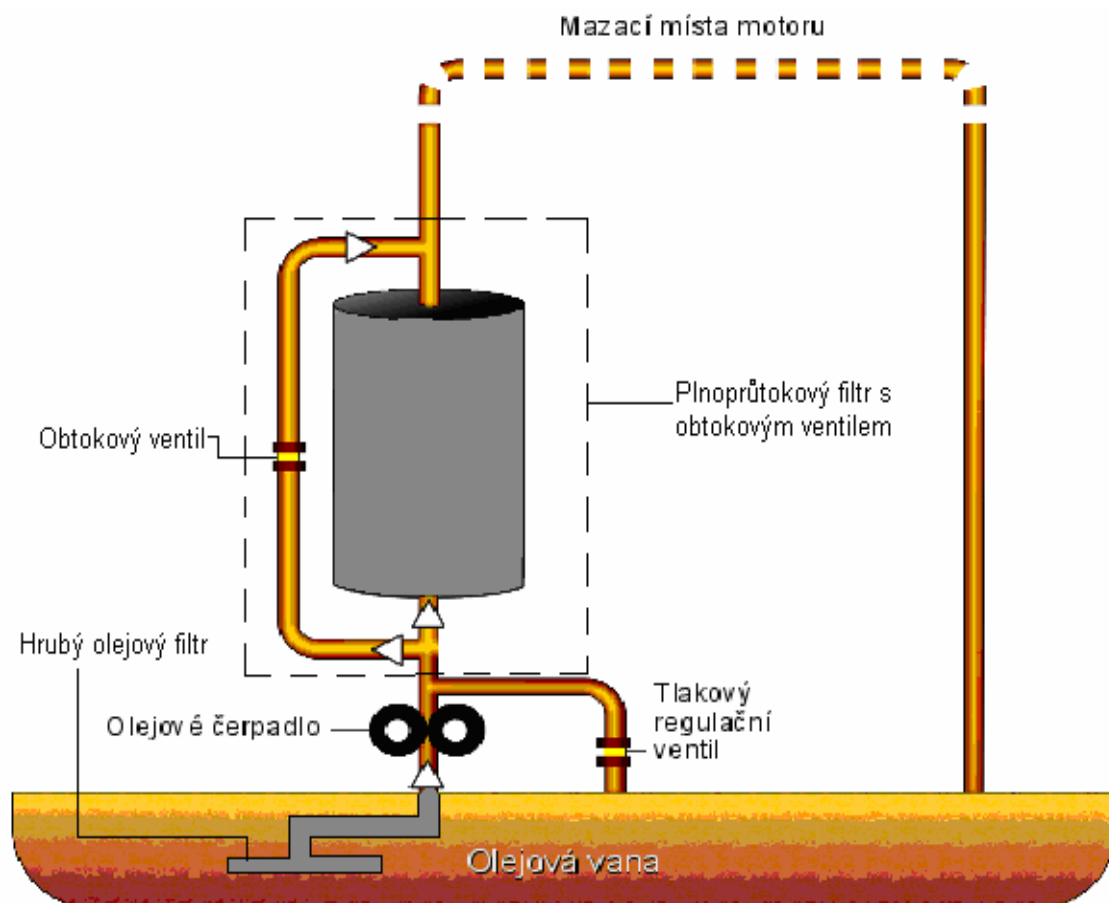
### 1.1 Druhy mazání

U motorů jsou v praxi nejvíce rozšířeny dva druhy mazání. Je to mazání mastnou směsí paliva a oleje v určitém poměru dle kvality oleje a druhu motoru. Tento princip se využívá u dvoudobých motorů a nebude zde dále rozebírán. U čtyřdobých motorů je téměř výhradně využíváno mazání tlakové oběžné s mokrou skříní, kde jsou hlavní mazaná místa zásobena tlakovým olejem od čerpadla. [7]

#### 1.1.1 Tlakové oběžné mazání s mokrou skříní

Jde o nejvyužívanější systém mazání spalovacích motorů. Olejovým zásobníkem je spodní víko motoru (olejová vana) do níž stéká olej z mazaných míst a chladí se. Olejová vana může být plechová, nebo z lehkých slitin a opatřena žebrováním pro zvýšení účinnosti chlazení. Výška hladiny oleje je sledována měrkou, nebo pomocí elektronického čidla.

Z vany je olej nasáván čerpadlem přes hrubý filtr ve tvaru síta, dále filtrován přes hlavní olejový filtr a dopravován systémem mazacích kanálů k mazaným místům. Hrubý síťový filtr zabraňuje průchodu větších mechanických nečistot, které by mohly poškodit olejové čerpadlo, nebo zavinit ucpání soustavy. Za olejové čerpadlo je zařazen tlakový regulační ventil, který udržuje konstantní tlak oleje v celé soustavě. [7]



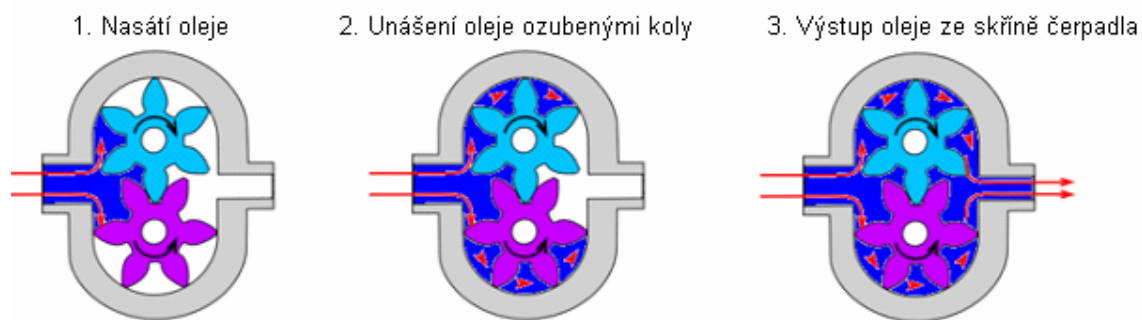
Obr. 1.1.1 Obecné schéma tlakového mazacího systému spalovacího motoru [3]

## 1.2 Olejová čerpadla

Olejová čerpadla jsou poháněna od vačkového nebo klikového hřídele motoru a zajišťují oběh oleje v mazací soustavě. Typické objemové hodnoty přečerpaného oleje se pohybují v rozmezí 150 až 350 l/hod. (dle objemu a otáček motoru). Tlak v mazací soustavě se pohybuje od 0,3 do 0,4 MPa při teplotě oleje 100°C. Olejová čerpadla mají různé konstrukce. V praxi jsou nejvyužívanějším typem čerpadla zubová a excentrická neboli trochoidní. [7]

### 1.2.1 Zubové čerpadlo

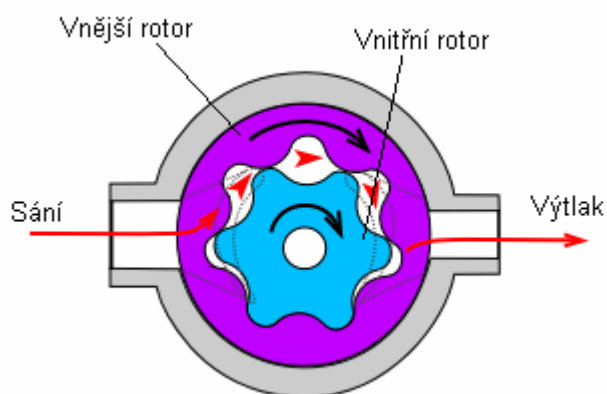
Zubové čerpadlo se skládá ze dvou spolu zabírajících čelních ozubených kol s přímým či šikmým ozubením z nichž jedno je hnací a druhé je hnané. Na straně sání se vlivem rotačního pohybu soukolí vytváří podtlak způsobující nasávání oleje, který je následně přepravován v prostoru zubových mezer ohraničeném stěnou uložení čerpadla do výtlaku. Vlivem pohybu soukolí je zamezeno samovolnému stékání oleje z okruhu zpět do vany. [7]



*Obr. 1.2.1 Princip čerpání oleje klasickým zubovým čerpadlem [18]*

### 1.2.2 Excentrické (trochoidní) čerpadlo

Excentrické čerpadlo se skládá ze dvou rotorů - vnějšího a vnitřního. Oba rotory mají malý počet zubů z čehož vnější rotor má o jeden zub více. Díky tvaru boků zubů má každý zub vnitřního rotoru neustálý styk s vnějším rotorem. Pracovní prostory mezi zuby se periodicky zmenšují a zvětšují což způsobuje efekt sání a výtlačku oleje. [7]



*Obr. 1.2.2 Princip činnosti excentrického olejového čerpadla [18]*

## 2. Olejové filtry

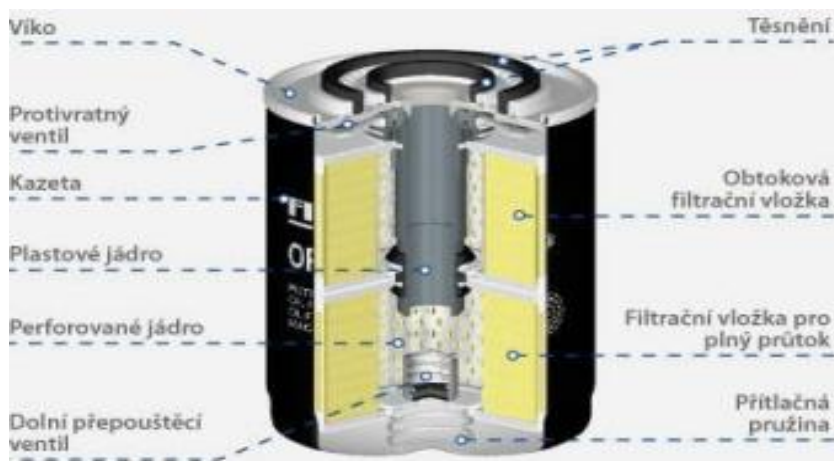
Zajišťují filtraci oleje od nečistot vzniklých při provozu motoru. Typickým příkladem jsou mechanické nečistoty vzniklé otěrem mazaných součástí (otěr kompozitních ložisek klikového hřídele, otěr stěn válců a pístních kroužků a další). Dále se zde vyskytují částice prachu, zbytky ze spáleného oleje (karbonové usazeniny). Dle druhu filtrace rozlišujeme dva typy čističů: • obtokové • plnopřítokové. [7]

### 2.1 Obtokový filtr (By-pass)

Při čištění oleje obtokovým filtrem protéká 5 – 10% čerpaného množství oleje čističem a teče zpět do olejové vany. Zbytek oleje pokračuje dále k mazaným místům. V jeden okamžik je tedy vyčištěna jen část oleje, celý objem je přečištěn postupně. Výhodou tohoto principu je vyšší účinnost filtrace, kdy je olej čištěn pomaleji a intenzivněji. V případě zanesení nečistotami a ucpání je filtr vyřazen z činnosti a k mazaným místům proudí nevyčištěný olej. Obtokové filtry jsou nejčastěji konstruovány s výměnou vložkou (papírovou či textilní) a tak, aby byl zajištěn co nejmenší průtočný odpor. U nových vložek se uvádí tlakový spád na filtru v rozmezí 0,02 – 0,03 MPa. [7]

#### 2.1.1 Filtry s dvojitým průtokem

Jako filtry s dvojitým průtokem se používají kazetové filtry se dvěma filtračními vložkami (s plným průtokem a obtoková). Uvnitř tohoto filtru se proud oleje rozděluje na hlavní, který pokračuje dále do motoru a obtokový, který po očištění proudí zpět do olejové vany. Takovéto integrované filtry zabírají méně prostoru a jejich výměna je jednodušší. [2]



Obr. 2.1.1 Kazetový olejový filtr s obtokovou filtrační vložkou (řez) [2]

### **2.1.2 Filtry (spin on) v obtokových systémech**

Spalovací motory s velkým objemem mají často olejový systém vybavený dvěma typy filtrů. Jeden filtr je v soustavě sériově (protéká jím všechny olej vháněný čerpadlem k mazaným místům) zatímco druhý filtr je vřazen paralelně. Paralelním filtrem protéká zhruba 10% čerpaného množství oleje, který se po očištění vrací zpět do olejové vany. V této soustavě je filtr s plným průtokem filtrem s průměrnou kvalitou filtrace, zatímco obtokový filtr je jemnější a účinnější.

Obtokové filtry se v tomto systému často vyskytují v podobě odstředivek, ve kterých jsou nečistoty od oleje oddělovány vlivem odstředivých sil. Používají se také filtry s přepážkami ze speciálních vláken nebo speciálních filtračních papírů. Typickou vlastností přepážkových filtrů je zmenšování průtoku filtrovaného oleje, což je způsobeno zanášením přepážky nečistotami, čímž vzrůstá i její průtokový odpor. [2]

## **2.2 Plnoprávkový filtr**

Tento druh filtrů je velmi účinný. V daném okamžiku je přečištěn všechny protékající olej a k mazaným místům se dostává jen minimum nečistot. Plnoprávkové filtry jsou ve většině případů konstruované jako nerozebíratelné, těleso čističe a vložky je navzájem pevně spojené. Z důvodu bezpečnosti, tedy pro případ ucpání nečistotami je filtr vybaven obtokovým (by-pass) ventilem, který se otevírá při překročení určitého tlakového spádu. Tímto ventilem dále proudí k mazaným místům olej nevyčištěný. [7]

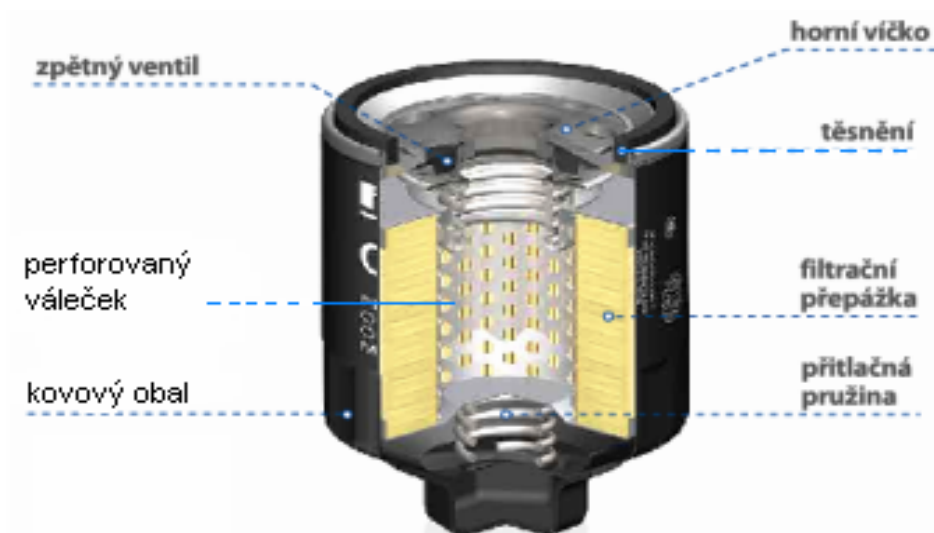
### **2.2.1 Kazetový olejový filtr**

Tento typ filtrů je v dnešní době nejvíce používán pro filtraci oleje ve spalovacích motorech.

*Hlavními výhodami jsou:* relativně snadná výměna opotřebeného filtru, velká odolnost proti poškození a v neposlední řadě i velmi dobré filtrační schopnosti ve srovnání s filtry obtokovými.

Vnější vzhledem si je většina kazetových filtrů dosti podobná, ale mohou se lišit vnitřní strukturou. Provozní parametry i konstrukční vlastnosti musí být optimálně přizpůsobeny, aby zajišťovali správnou funkci v olejovém systému motoru. Zvláštní pozornost při výrobě si zasluhují ventily, které se nacházejí uvnitř filtru a zajišťují jeho správnou funkci. V kazetových filtrech se mohou nacházet tři druhy ventilů, jejichž funkce je popsána níže. [2]



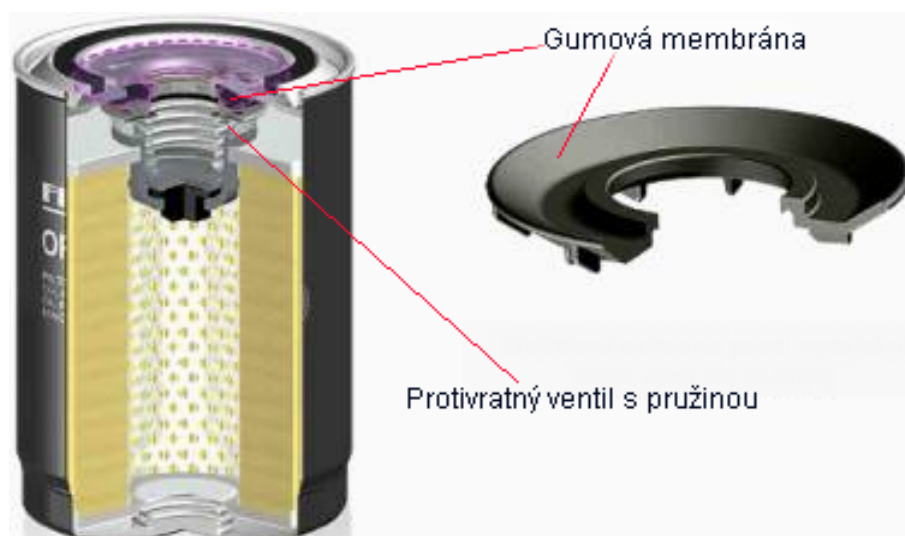


Obr. 2.2.1a Řez kazetovým filtrem [2]

- **Funkce protivratného ventilu**

Protivratný ventil je nezbytný, je-li filtr namontován z boku nebo v horní části motoru. Má obvykle podobu gumové membrány, která tlakem pružiny přiléhá k vnitřní straně víka kazetového filtru. Tato membrána má za úkol při vypnutí motoru zakrýt otvory, kterými se do filtru dostává znečištěný olej. Je to z toho důvodu, aby olej obsažený uvnitř filtru nevytekl zpět do olejové vany.

Protivratný ventil zkracuje dobu suchého nebo polosuchého tření mezi pohyblivými částmi motoru a to tím způsobem, že čerpadlo nemusí dodávat olej potřebný k naplnění tělesa filtru. Tím se urychluje dodávka tlakového oleje k mazaným součástem, zvláště při startech motoru po delší odstávce. [2]



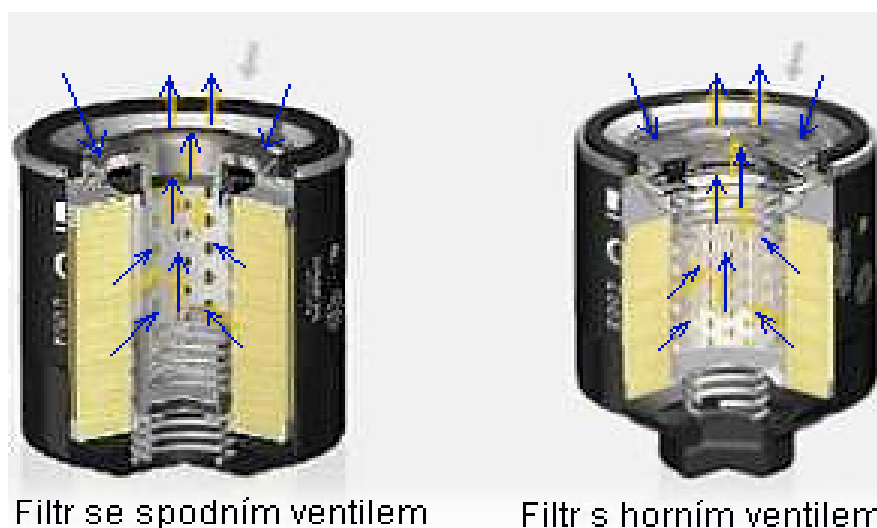
Obr. 2.2.1b Ukázka protivratného ventilu [2]

- **Obtokový ventil (by-pass)**

Jak již bylo řečeno plnopřítokové kazetové filtry jsou opatřeny bezpečnostním obtokovým ventilem, který se otevírá v případě nadměrného zanesení čističe nečistotami. Otevírání ventilu je založeno na principu pružiny, která se při zvýšeném tlaku ve filtru stlačuje a přepouští tak olej do okruhu obtokem. Nevýhodou je, že olej není již dále filtrován. Výhodou naopak, že nedojde k zastavení mazání motoru či destrukci zaneseného filtru.

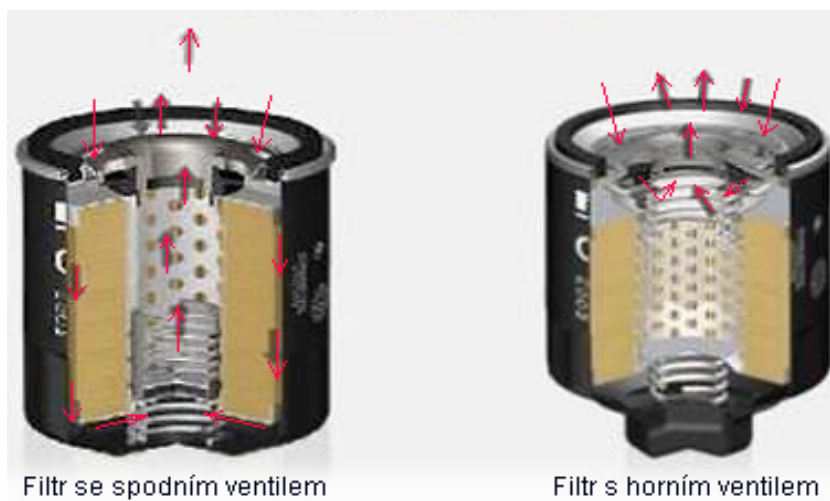
V současnosti vyráběné filtry mají by-pass ventil umístěný buď nahoře pod víčkem, nebo dole na dně nádoby filtru. Pro dole umístěné ventily je charakteristické, že olej musí v případě otevření ventilu obtékat znečištěnou filtrační vložku. Tento proud oleje může z vložky uvolňovat zachycené částice, což vede ke zvýšenému opotřebení pracovních ploch motoru. By-pass ventil umístěný nahoře tento efekt vyplachování nečistot vylučuje, protože proud oleje neobtéká zanesenou filtrační vložku. Výhodou tohoto umístění je výrazně lepší ochrana motoru proti vyplachování částic z filtrační vložky v případě zanesení filtru a otevření obtoku. Způsob průtoku oleje v jednotlivých případech znázorňují následující obrázky. [2]

- Při normálním provozu filtru prochází všechny olej přes filtrační materiál a jsou odstraněny všechny zachytitelné částice. Princip znázorňuje obrázek 2.2.1c.



Obr. 2.2.1c Průtok oleje filtrem při normálním provozu [2]

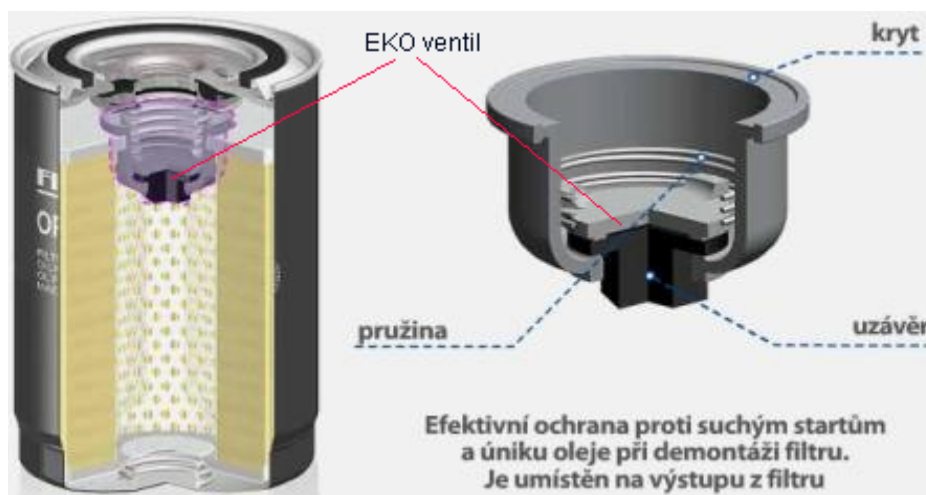
- Průtok oleje přes oba typy obtokových ventilů je znázorněn na obrázku 2.2.1d. Zde je již zvýšené riziko pronikání nečistot do mazacího systému (hlavně u filtru se spodním ventilem) a je třeba filtr vyměnit za nový.



Obr. 2.2.1d Průtok oleje přes obtokový (by-pass) ventil [2]

- **Úloha EKO ventilu**

Ventil EKO brání vytékání oleje z filtru po vypnutí motoru. Hraje tedy podobnou roli jako ventil protivratný, avšak s tím rozdílem, že EKO ventil je umístěn na straně výtlačku čistého oleje, čímž účinně brání vytékání oleje z filtru při jeho výměně. Tento způsob pomáhá chránit životní prostředí proti kontaminaci použitým motorovým olejem. [2]



Obr. 2.2.1e Umístění EKO ventilu ve filtru [2]

## 2.3 Vložky do olejových filtrů

U starších typů, zejména nákladních automobilů můžeme nalézt filtr s rozebíratelným pláštěm, ve kterém se nachází výměnná filtrační vložka. U nyní vyráběných motorů pro nákladní i osobní automobily se s tímto řešením můžeme setkat také, ale méně často.

Koncepce rozebíratelného pláště a výměnné filtrační vložky má jednu důležitou přednost a to zpracování (recyklace) opotřebené filtrační vložky, zvláště je-li vyrobena bez použití kovových dílů. Recyklace samotné vložky je méně nákladná a nebezpečná pro životní prostředí, nežli recyklace celého filtru (spin-on, kazetový).

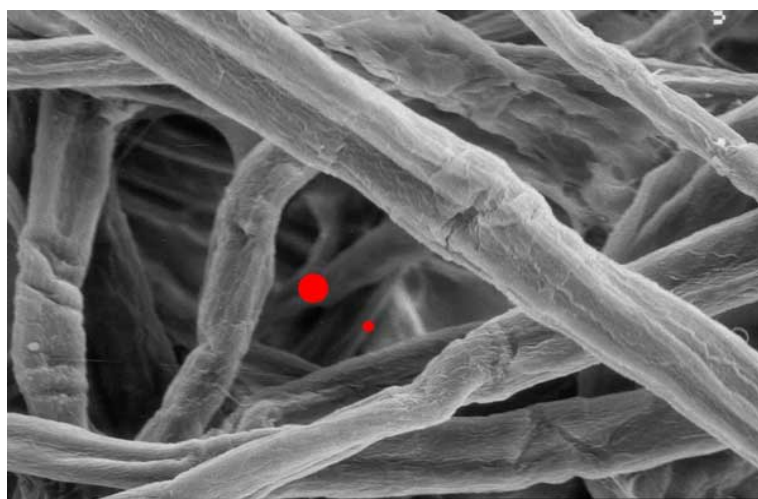
Pláště rozebíratelných olejových filtrů montované v nyní vyráběných motorech a pláště z dob před dvaceti lety se značně liší v konstrukci a použitém filtračním materiálu, nicméně funkce zůstává nezměněna. Pláště obsahují všechny ventily potřebné pro správnou funkci filtru v olejovém systému a součásti, které pomáhají přesně umístit a utěsnit filtrační vložku při její výměně. [2]



*Obr. 2.3 Výměnná filtrační vložka [2]*

## **2.4 Používané filtrační materiály**

K filtraci motorového oleje se v dnešní době standardně používá papír na bázi celulóзовého vlákna, který je impregnován speciálními fenolovými či epoxidovými pryskyřicemi. Tyto pryskyřice jej chrání před působením vysokých teplot a agresivních chemických látek nacházejících se v oleji při jeho provozu v motoru. [2]



*Obr. 2.4 Celulóзовý filtrační materiál zvětšený pomocí elektronové mikroskopie [1]*

Jako moderní materiály, které jsou určeny pro filtrování syntetických olejů se používají příměsi umělých vláken, nebo plně syntetické filtrační materiály.

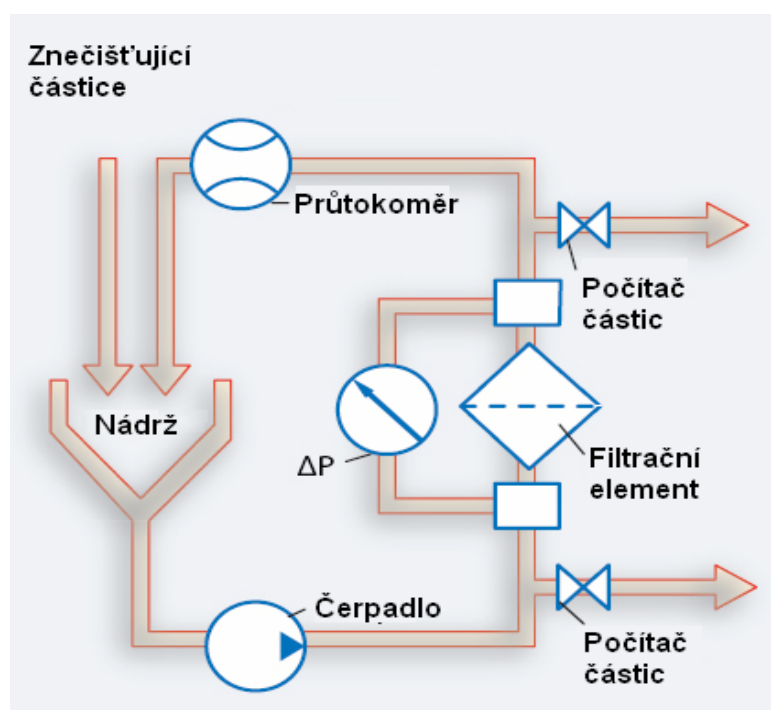
Pro zvýšení absorpční schopnosti filtru se používají vícevrstvé materiály s různou strukturou a různými filtračními vlastnostmi u každé vrstvy. Kombinací těchto materiálů lze docílit efektu selektivního oddělování nečistot na každé vrstvě. Výsledkem toho je značné zvýšení absorpce nečistot se zachováním požadované průchodnosti filtru i účinnosti filtrace oleje. [2]

## 2.5 Testování olejových filtrů

Výrobci olejových filtrů využívají v současné době v zásadě dva typy vyhodnocování efektivity (účinnosti) filtračních materiálů, které jsou blíže popsány v následujícím textu.

### 2.5.1 Multipass test – ISO 16889

Jedná se o metodu, při které se testuje efektivita filtru. Při testu kapalina (olej) cirkuluje v obvodu za určitých podmínek, které jsou přesně sledovány a řízeny. Tlaková difference vznikající na filtračním elementu je trvale zaznamenávána při stále stejném množství a složení znečišťujícího materiálu, který je dodáván do proudu kapaliny před filtračním prvkem. Vyhodnocování efektivity provádí laserové měřiče, které monitorují aktuální počet a velikost nečistot před a za filtračním elementem. [17]



Obr. 2.5.1 Multipass test – schéma uspořádání filtrační tratě [9]

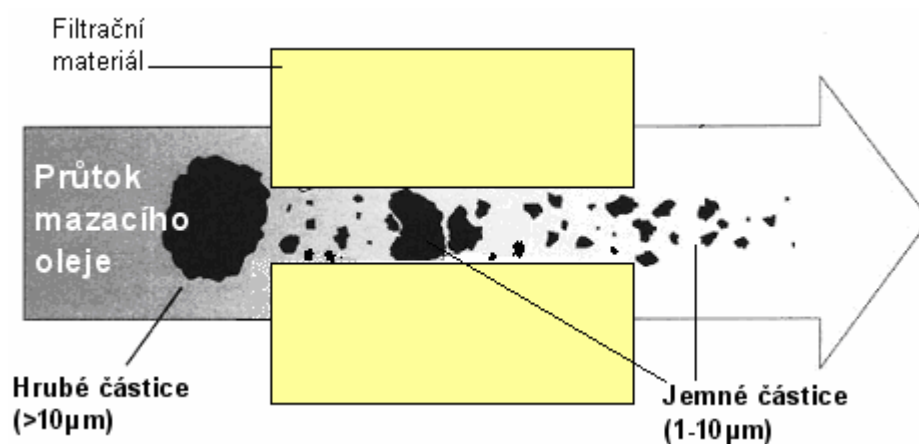
### 2.5.2 DFE – dynamická účinnost filtrů

DFE je nová metoda testování a hodnocení olejových filtrů, která vznikla na základě požadavků výrobců přiblížit se skutečným provozním podmínkám. Rozdíl mezi Multipass testem a DFE je v tom, že u Multipass testu je rychlost průtoku kapaliny konstantní 114 l/min. Oproti tomu u metody DFE jsou průtoky dva, vyšší průtok je stejný 114 l/min a druhý je nižší 57 l/min. U této testovací metody bylo zjištěno, že efektivita filtru se mění v závislosti na změně průtoku kapaliny. [17]

### 2.6 Účinnost olejových filtrů

Účinnost olejového filtru závisí na použitém filtračním materiálu respektive na velikosti jeho měrného povrchu a pórů, kterými je olej protlačován (filtrován). Velkou roli zde sehrávají i vysoké nároky na průchodnost filtru, jenž nesmí klást procházejícímu oleji velký průtočný odpor, což vyžaduje určitý kompromis konstrukce. U plnoprůtokových čističů, které jsou v současné době nejpoužívanější je standardní účinná filtrace částic větších než  $10\mu\text{m}$  a jsou tedy konstruovány jako středně jemné.

Účinnost filtračního materiálu lze demonstrovat následujícím obrázkem 2.6, který znázorňuje průchod či zachycení částic charakteristické velikosti. [2] [4] [7]



Obr. 2.6 Princip zachycení částic určité velikosti

### 2.7 Životnost olejového filtru

Životností filtru se rozumí doba, po kterou je filtr provozuschopný a plní svůj účel. Tato doba je ovlivněna koncentrací nečistot v oleji, které je filtr schopen jímat až do té doby, kdy je tlaková ztráta příliš vysoká a dochází k otevření obtokového ventilu. V praxi se často používá postup výměny filtru společně s výměnou motorového oleje po ujetí výrobcem předepsaných kilometrů nebo uběhnutých motohodin. [4] [7]

### 3. Motorové oleje

Oleje slouží ve spalovacím motoru jako mazací a chladicí médium, zároveň udržují provozní části motoru v dokonalé čistotě a to díky skupině obsažených přísad. Rozlišujeme tři základní skupiny olejů:

- *Minerální oleje* – jsou jedním z produktů frakční destilace ropy. Je to průhledný, bezbarvý olej složený především z alkánů a cyklických parafínů. [19]
- *Polosyntetické oleje* – jsou směsi minerálního oleje s maximálně 30% oleje syntetického. Jsou vyráběny tak, aby měly mnoho výhod syntetického oleje, ale přitom nebyly tak drahé jako olej syntetický. (První polosyntetický olej uvedla na trh firma Motul v roce 1966). [20]
- *Syntetické oleje* – jsou maziva sestávající z chemických sloučenin, které se vyrábějí syntézou z jiných látek než je ropa. Často se využívají namísto maziv získaných rafinací ropy a to z důvodu lepších mechanických a chemických vlastností než nabízí například tradiční oleje minerální. [20]

#### 3.1 Mazivost a ochrana proti korozi

Mazivost je základní funkcí motorového oleje. Jde ve své podstatě o schopnost oleje vytvořit mezi dvěma třecími povrchy vrstvu mazacího filmu, která je v ideálním případě oddělí tak, že při vzájemném pohybu nebude docházet k jejich kontaktu. Mazací olej je během provozu podroben značnému mechanickému a tepelnému namáhání i přesto musí vykazovat co nejlepší mazací vlastnosti. Uhlovodíkové základové oleje, ropné či syntetické zaručují velmi dobrou mazivost v naprosté většině běžně užívaných spalovacích motorů. Mazání za ztížených podmínek, například mazání ventilové oblasti je podpořeno protioděrovými či vysokotlakými mazivostními přísadami, které zajišťují vyšší ochranu mazané součásti proti opotřebení.

Na první pohled by se mohlo zdát, že čím je v oleji více mazivostních přísad, tím lépe bude zabezpečena ochrana motoru proti korozi, což není příliš pravdivé. Mazivostní přísady působí tak, že určitým reakčním mechanismem působí na povrch mazaného kovu. Při nadbytku běžných aditivačních přísad či při působení extrémně účinné mazivostní přísady může být povrch kovu napaden do té míry, že hrozí nebezpečí koroze. Tím se dostáváme k další sledované vlastnosti oleje a tou je ochrana proti korozi.

Kromě již zmíněného účinku nadbytku či nevhodného složení mazivostních přísad jsou hlavní příčinou koroze kyselé produkty vzniklé při spalování paliva, které se



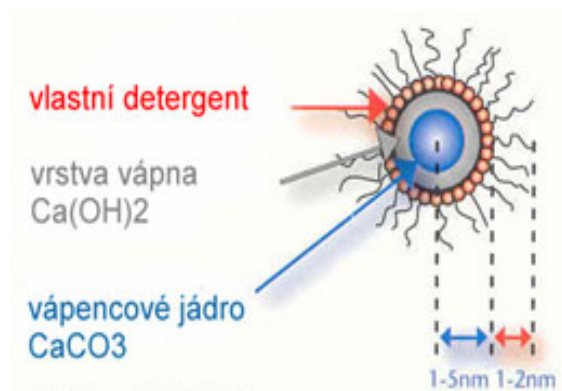
kumulují v oleji. Olej tak při provozu zvyšuje svoji kyselost, která je nebezpečným zdrojem koroze. Proti účinku kyselých látek se používá alkalická rezerva, která je součástí aditivačních přísad do olejů. [11]

### 3.2 Detergentní a disperzní vlastnosti

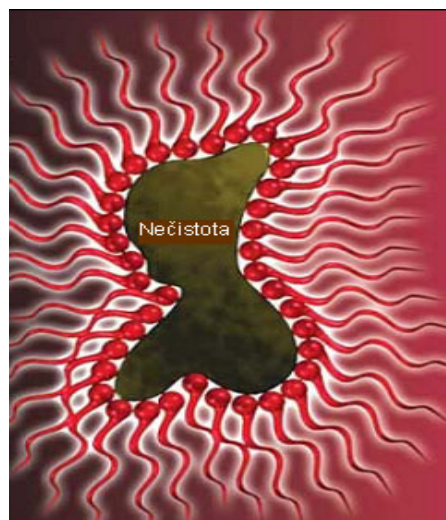
Detergentní a disperzní vlastnosti jsou u motorových olejů v současné době velmi sledované. Každý moderní olej musí udržet motor v ideální čistotě. Olej nesmí dovolit usazování jakýchkoliv nečistot nebo karbonových nánosů kdekoliv v motoru. K tomu slouží detergentní přísady, které neustále čistí mazaný povrch a uvolňují z něj částičky nečistot, jako jsou různé kaly, karbonové povlaky a podobně. Disperzantní přísady pro změnu udržují tyto uvolněné částičky nečistot v disperzi a nedovolí jejich usazování v částech motoru. Jako disperzanty se používají polymerní sloučeniny, jejichž velké molekuly napomáhají disperzním vlastnostem.

Schématická ukázka struktury moderního detergentu s alkalickou rezervou je uvedena na obrázku 3.2a. Jde o takzvané micely, jejichž jádro je tvořeno většinou vápencem (uhličitan vápenatý  $\text{CaCO}_3$ ).

Názorný příklad působení disperzantů je uveden na obrázku 3.2b. Každá molekula disperzantů má jeden konec polární, který se přichytí na nečistotě, druhý konec molekuly je nepolární a dokonale rozpustný v oleji. Díky tomuto mechanismu jsou všechny malé částičky nečistot v oleji dobře dispergovány a nemohou se usazovat. Typickými nečistotami, které je nutno takto dispergovat jsou saze v naftových motorech, prachové částice z nasávaného vzduchu, produkty tepelné a oxidační degradace oleje a další. [12]



Obr. 3.2a Struktura moderního detergentu [12]



Obr. 3.2b Představa působení disperzantů [12]

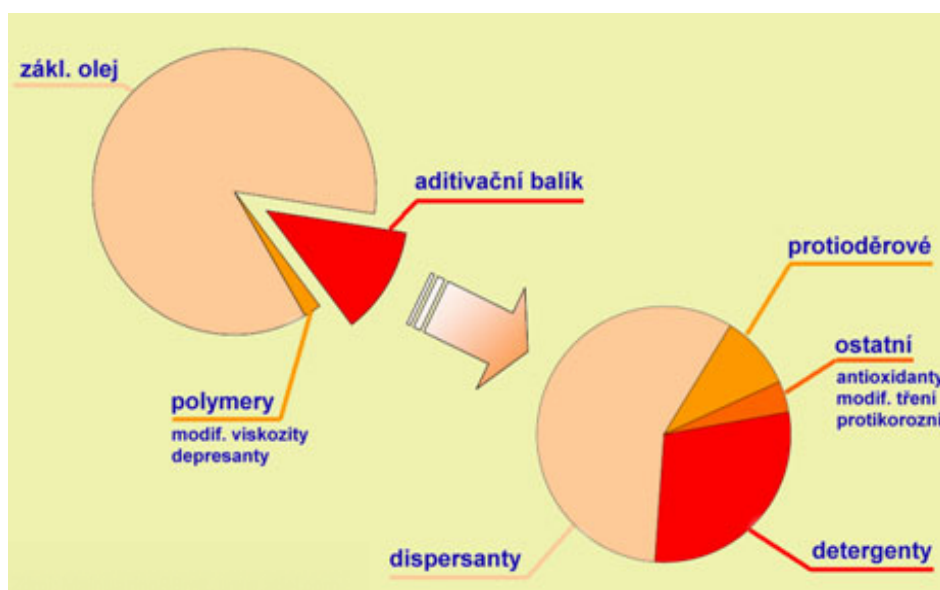


### 3.3 Oxidační stabilita

Oxidační stabilita motorového oleje je další neméně důležitou vlastností. Olej je při svém provozu oxidačně namáhán. V některých motorech více v jiných zase méně, ale vždy k oxidaci dochází. Oxidačně degradovaný olej ztrácí některé své důležité vlastnosti. Snižuje se ochrana proti korozi, zhoršují se viskozitní vlastnosti a podobně. Všechny moderní motorové oleje jsou chráněny proti oxidaci přísadami, takzvanými antioxidanty, které se do oleje přidávají společně s dalšími aditivy. [11]

### 3.4 Aditivace olejů

Přísady, jako jsou detergenty, disperzanty, protioděrové složky či antioxidanty se do motorového oleje nepřidávají samostatně, ale jejich kvalita a množství musejí být funkčně sladěny s dalšími přísadami, které jsou v oleji nezbytné. Proto jsou součástí takzvaného aditivačního balíku, který se přidává k základovému oleji a dodává mu jeho výkonové a ochranné vlastnosti. Složení aditiv přidávaných do olejů znázorňuje následující obrázek 3.4. [12]



Obr. 3.4 Složení motorových olejů a jejich aditiv [12]

### 3.5 Viskozita oleje

Viskozita je pro motorové oleje velmi důležitá vlastnost, která určuje jeho tekutost. Oleje s nižší viskozitou jsou tekutější (řidší) a mají tedy menší vnitřní odpor proti proudění při toku. Vyšší viskozita olejů naopak znamená vyšší vnitřní odpor a tím pádem také pomalejší tok.

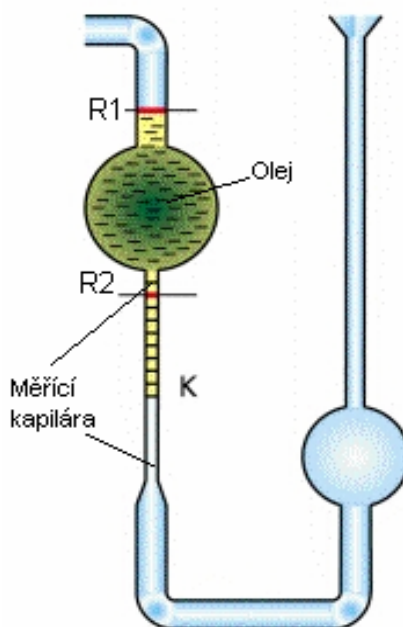
Hodnota viskozity se velmi rychle mění podle aktuální teploty oleje v motoru. Závislost viskozity na teplotě vyjadřuje hodnota viskozitního indexu. Čím méně se mění viskozita s teplotou, tím vyšší je viskozitní index. [13]

### 3.5.1 Měření viskozity

Viskozita oleje se měří pomocí viskozimetru, který je znázorněn na obrázku 3.5.1. Hlavní součástí tohoto přístroje je skleněná kapilára, která je při měření protékána vzorkem oleje. Měří se čas, za který projde hladina oleje mezi dvěma ryskami. Viskozimetr je při měření ponořen do vyhřívané lázně, která udržuje požadovanou teplotu. Každý viskozimetr je od výrobce kalibrován a má svoji vlastní konstantu, kterou se nakonec vynásobí naměřený průtočný čas. Tímto se získává hodnota kinematické viskozity, která se udává v jednotkách  $[\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$ . Kromě kinematické viskozity rozlišujeme ještě viskozitu dynamickou, která je dána součinem kinematické viskozity a hustoty kapaliny. Toto měření se používá pro posouzení nízkoteplotních vlastností olejů.

Rozdíl mezi oběma viskozitami je v tom, že kinematická viskozita je ovlivněna zemskou přitažlivostí (měření se provádí ve svislé poloze a olej teče směrem dolů). Pro přepočet mezi oběma viskozitami se používá již zmíněná hodnota hustoty kapaliny.

V praxi se někdy můžeme setkat s takzvaným Englerovým viskozimetrem, který slouží převážně pro měření viskozity přímo na místě odběru, např. v terénu. Jde o orientační měření pomocí nálevky s definovaným výtokovým otvorem. [13]



Obr. 3.5.1 Viskozimetr pro měření kinematické viskozity [8]

### 3.5.2 Viskozitní třídy

Motorové oleje se podle své viskozity klasifikují do viskozitních tříd podle SAE. U viskozitní specifikace, například SAE 10W/40 se rozlišuje takzvané zimní (10W) a letní (40) viskozitní číslo. Zimní viskozitní číslo se určuje podle nízkoteplotních hodnot CCS viskozity (startovatelnost za nízkých teplot) a mezní čerpatelnosti (viz tabulka 3.5.2). Letní viskozitní číslo je určeno viskozitou při teplotě 100°C, což odpovídá přibližně provozní teplotě oleje v motoru.

Z výše uvedených specifikací je zřejmé, že kupříkladu oleje SAE 15W/40, SAE 10W/40 a SAE 5W/40 mají při provozní teplotě všechny téměř stejnou viskozitu. Avšak při nízkých teplotách pod bodem mrazu se jejich viskozitní vlastnosti velmi liší. Například oleje SAE 5W/40 umožňují snadnější starty v zimním období, kdy i při velmi nízkých teplotách zůstává olej dostatečně tekutý. Dostane se tak snáze k mazaným místům, čímž chrání motor proti opotřebení při častých studených startech. [13]

Tab. 3.5.2 Viskozitní klasifikace SAE J300 [13]

SAE viskozita	CCS viskozita (mPa.s)	Nízkoteplotní čerpatelnost (mPa.s)	Kín. viskozita při 100 °C (mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )
0W	max. 6200/-35 °C	max. 60 000/-40 °C	min. 3,8
5W	max. 6600/-30 °C	max. 60 000/-35 °C	min. 3,8
10W	max. 7000/-25 °C	max. 60 000/-30 °C	min. 4,1
15W	max. 7000/-20 °C	max. 60 000/-25 °C	min. 5,6
30			9,3 – 12,5
40			12,5 – 16,3
50			16,3 – 21,9

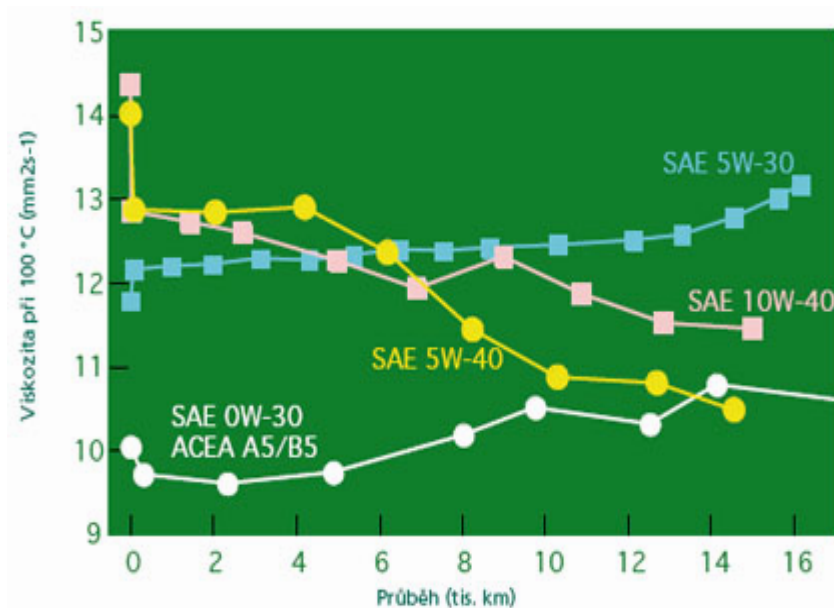
Viskozitní klasifikace SAE J300, výběr nejčastějších specifikací.

### 3.5.3 Změny viskozity důsledkem provozu

Při provozu oleje v motoru může docházet ke značným změnám jeho viskozity. Za nárůst viskozity oleje je zodpovědná zejména termická a oxidační degradace oleje a u vznětových motorů k tomuto faktoru přispívá i značné množství sazí v oleji. Naopak snížení viskozity může způsobovat nadměrný obsah paliva v oleji. Jako další příčinu snižování viskozity lze uvést stříhovou stabilitu modifikátorů viskozity, což jsou polymerní látky, které upravují viskozitu motorových olejů a zvyšují jejich viskozitní index. Tyto polymerní látky jsou při provozu oleje namáhány stříhem, zejména pak

v olejovém čerpadle, čímž dochází k jejich trhání na menší molekuly, což způsobuje snižování viskozity.

Na obrázku 3.5.3 jsou znázorněny průběhy viskozity několika moderních olejů. Šlo o provoz v zážehových (benzínových) motorech, kdy obsah paliva v oleji byl zanedbatelný a uvedené změny byly způsobeny především zhoršující se stříhovou stabilitou olejů. Z grafu je také patrné, že největší změny viskozity nastaly během prvních 100 km provozu, kdy u některých olejů viskozita klesla o 10 až 15 %. [13]



Obr. 3.5.3 Graf průběhu viskozity v závislosti na ujetých kilometrech [13]

#### 3.5.4 Důsledky změny viskozity

U vznětových motorů se v praxi většinou povoluje provoz motorového oleje v rozmezí viskozity maximálně  $\pm 20\%$ . Pro zážehové motory lze připustit větší odchylku směrem k nižším hodnotám viskozity a to až o 30 % od původní hodnoty.

Příliš nízká viskozita způsobená převážně nadbytkem paliva v oleji při závadě na vstřikovacím systému má za následek vznik příliš tenkého mazacího filmu. Tento fakt může vést ke zvýšenému opotřebení třecích ploch pracovních součástí motoru a v krajních případech až k zadření motoru.

Vysoká viskozita způsobená oxidační degradací oleje je pro motor nebezpečná převážně z důvodu tvorby koroze na jeho ocelových pracovních částech. U vznětových motorů je tento fakt ještě zhoršen pronikáním sazí do oleje, které působí abrazivně na třecí plochy motoru. [13]

#### **4. Znečištění oleje vlivem provozu v motoru**

Nečistoty pocházejí z více zdrojů a během provozu se hromadí v motorovém oleji. Jedná se převážně o mechanické nečistoty jako jsou prach, otěrové kovy, saze a produkty chemické degradace samotného oleje.

Nadměrný obsah nečistot v oleji vede ke zvýšenému opotřebení třecích povrchů, a tvorbě úsad a kalů, které se hromadí v motoru a olejovém systému. Tento fakt může vést v konečném důsledku i k ucpání olejového filtru a dodávce nefiltrovaného oleje k mazaným místům. [14]

##### **4.1 Částice prachu**

Nejčastějším zdrojem prachových částic v motorovém oleji je nasávaný vzduch, který nikdy není absolutně čistý. Velké a střední částice prachu jsou pohlceny vzduchovým filtrem, menší jím prostoupí a jsou dále nasávány do spalovacího prostoru. Takto nasáté částice ulpívají na stěnách válců, ze kterých jsou později spláchnuty do motorového oleje.

Tyto částice mají velikost i několik mikrometrů a jsou velmi tvrdé (jedná se většinou o částice křemičitého prachu) a tedy značně abrazivní. [14]

##### **4.2 Saze a jejich tvorba**

Saze jsou mechanické nečistoty, které vznikají při nedokonalém spalování nafty ve spalovacím prostoru. Jde tedy především o problém vznětových motorů. U zážehových motorů je tvorba sazí zanedbatelná. Převážná část sazí odchází ze spalovacího prostoru s výfukovými plyny. Zbývající část spolu s výfukovými plyny proniká přes pístní kroužky do prostoru klikové skříně a saze tak končí v oleji, kde dochází k jejich hromadění.

Saze jsou tvořeny téměř čistým uhlíkem a jsou velmi tvrdé. Jejich rozměry nejsou příliš velké. Velikost částic sazí se pohybuje kolem setiny mikrometru, ale díky aglomeraci a shlukování částic se jejich velikost může zvětšit až na jednu desetinu mikrometru. Dalšímu shlukování a růstu částic sazí zabraňují disperzanty, které jsou součástí motorového oleje.

Problémy se sazemi nastávají při jejich nadměrném množství v oleji, kdy začínají ovlivňovat jeho viskozitu. Udávaná limitní koncentrace je přibližně 3 hmotnostní procenta. [14]

#### **4.2.1 Vliv sazí na viskozitu**

Nadměrný obsah sazí v oleji způsobuje růst jeho viskozity. Vysoká koncentrace sazí může mít také za následek vyčerpání dispergačních přísad a následnou koagulaci sazí do větších shluků, které postupně zanáší olejový filtr. Vysoký obsah sazí byl také příčinou toho, že vznětové motory osobních automobilů měly kratší intervaly výměny motorového oleje než motory zážehové. V dnešní době díky velké kvalitě základových olejů a disperzantů jsou výměnné intervaly olejů u vznětových motorů prodlouženy na úroveň motorů zážehových či ještě déle.

Vážným důsledkem vysokého obsahu sazí v oleji je zvýšené opotřebení motoru. Částičky sazí jsou nepatrné, avšak při větší koncentraci působí podobně, jako jemná brusná pasta. Také při čerpání tlakového oleje dochází díky proudění částic sazí k jejich narážení na kovové povrchy, které jsou tak abrazivně opotřebovávány. [14]

#### **4.3 Otěrové kovy**

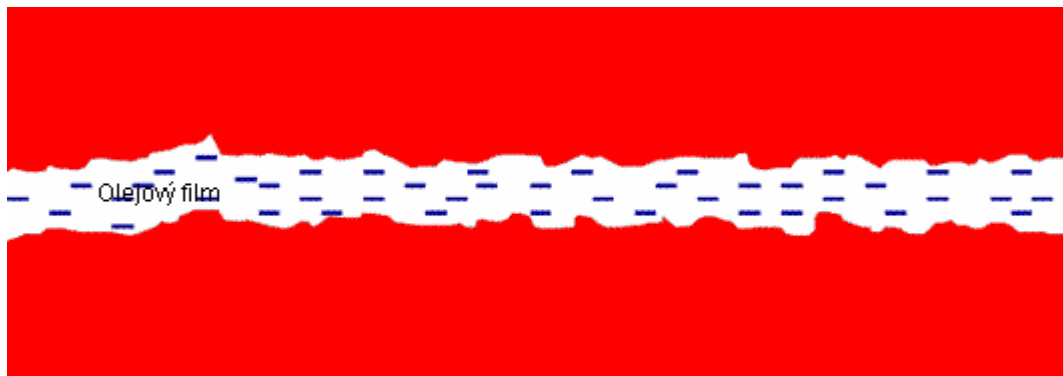
Otěrové částice kovů jsou dalšími nečistotami, které se vyskytují v oleji za provozu motoru. Vznikají při tření kovových povrchů a to i při kvalitním mazání a normální úrovni tření. Rozměry těchto částic jsou při normálním opotřebení od desetin až po několik mikrometrů. Tyto částice mohou mít velikost tloušťky mazacího filmu a iniciují tak další tření a opotřebení motoru. Při zvýšené úrovni tření mohou vznikat otěrové částice značné velikosti a to desítek a při havarijním opotřebení až stovek mikrometrů. [14]

##### **4.3.1 Příčiny přítomnosti kovů v oleji**

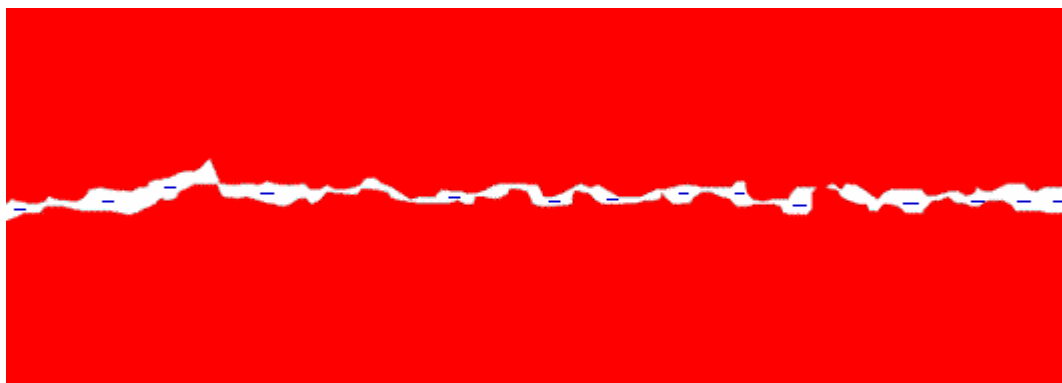
Jedná se zde o fakt, že třecí povrchy kovů, ani ty pečlivě vysoustružené a vybroušené nejsou nikdy naprosto hladké. Každý povrch má svoji morfologii (strukturu), kterou je možné v řezu znázornit jako zubatou čáru.

V normálním stavu jsou v motoru dvě třecí plochy odděleny vrstvičkou mazacího olejového filmu (viz obrázek 4.3.1a). Viskóznější oleje vytvářejí při stejné teplotě silnější mazací vrstvičku než oleje s nižší viskozitou. Povrchy tak nepřicházejí do vzájemného kontaktu, nebo jen minimálně díky některým větším nerovnostem. Pokud na třecí plochy působí přítlačná síla, může být vrstva oleje vytlačena a povrchy se dostanou do vzájemného kontaktu. Dochází k takzvanému meznímu tření, kdy oba povrchy již nejsou mazány vrstvou oleje, ale pouze jeho mazivostními aditivy, která ulpěla na povrchu mazaného kovu. Tuto situaci znázorňuje obrázek 4.3.1b. Při pohybu

takovýchto dvou povrchů po sobě dochází ke vzájemnému odírání jejich nerovností a oddělování mikroskopických částeczek kovu z jejich povrchů. Tyto částecčky následně putují do oleje a zhoršují tak jeho kvalitu. [15]



*Obr. 4.3.1a Kovové plochy odděleny vrstvičkou oleje – normální stav, malý otěr [15]*



*Obr. 4.3.1b Kovové plochy v těsném kontaktu – velké tlaky, značný otěr [15]*

#### **4.3.2 Charakteristické kovy v oleji a jejich zdroje**

Konstrukční kovy různých dílů motoru jsou vyrobeny ze specifických materiálů. Díky tomu je možné z množství konkrétního kovu odhadnout pravděpodobné místo, kde dochází ke zvýšenému otěru a tím i riziku závady.

Seznam nejčastěji analyzovaných kovů v oleji a místa jejich původu jsou uvedeny v následující tabulce 4.3.2. V této tabulce je mimo běžných konstrukčních kovů uveden i křemík. Tento prvek s konstrukčními kovy nesouvisí, ale jeho přítomnost je téměř vždy předmětem analýzy. Křemík je hlavní součástí prachových částic. Jeho zvýšené množství v oleji signalizuje zanesení či závadu na vzduchovém filtru a je třeba jeho výměna za nový.

Ostatní kovy, které je možné v motorovém oleji nalézt pocházejí většinou z aditivace oleje. *Typickým příkladem je:* zinek, molybden, antimon, vápník, hořčík,

baryum. Nebo i z jiných zdrojů. Sodík a bor se nacházejí v nemrznoucích směsích. Sodík také často kontaminuje motorové oleje v zimních měsících a to díky posypům vozovek solí (NaCl). [15]

*Tab. 4.3.2 Otěrové kovy v motorovém oleji a jejich možné zdroje [15]*

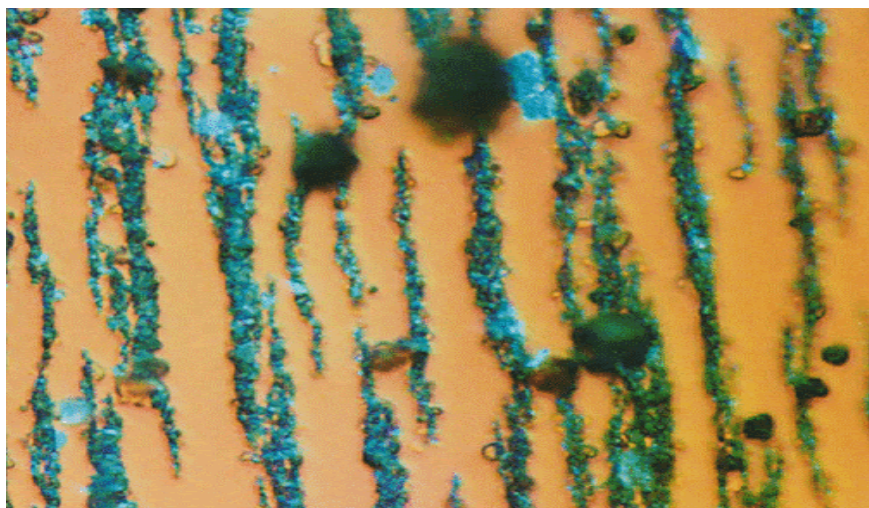
Otěrový kov	Původ - motorový díl
Železo	Vyskytuje se téměř vždy jako hlavní konstrukční kov, jeho koncentrace je až na výjimky vždy nejvyšší.
Měď	Kluzná ložiska, ventilová skupina (uložení zdvihátek ventilů), pouzdro pístního čepu.
Chrom	Chromované díly – stěny pístních kroužků, vložky a podobně.
Nikl	Součást konstrukční oceli ložisek, hřídelí a ventilů.
Hliník	Písty, určité typy pouzder a uložení.
Olovo	U starých zážehových motorů kontaminace z benzínu.
Cín	Kompozitní ložiska, bronzové díly.
Stříbro	Postříbřená ložiska.
Křemík	Indikátor prachu, špatný stav vzduchového filtru – výměna.

### 4.3.3 Otěrové částice dle druhu opotřebení

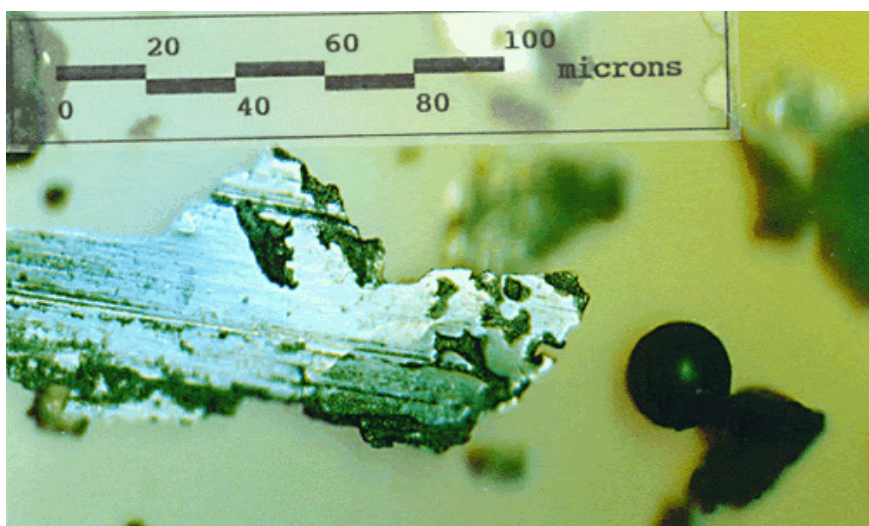
Existuje několik typů namáhání třecích dílů a několik mechanismů opotřebení. Otěrové částice vzniklé odlišným mechanismem opotřebení mají různý tvar a charakteristiku povrchu. Velikost částic normálního opotřebení se pohybuje v řádu několika mikrometrů, obvykle do 5 mikrometrů. Čím jsou částice otěru větší, řádově desítky až stovky mikrometrů, tím je i větší mechanické opotřebení dílů motoru. Technika, kterou lze izolovat otěrové částice z oleje a následně je prohlédnout a zhodnotit pod mikroskopem se nazývá Ferrografie. Jde v podstatě o metodu, kde pomocí silného magnetu vyjmeme z testovaného vzorku oleje ferromagnetické částice, které se tak snáze zhodnocují.

Následující mikroskopické obrázky znázorňují typické částice vznikající různými mechanismy opotřebení. Příklad shluků velmi malých částic normálního opotřebení vystihuje obrázek 4.3.3a. Částice jsou vlivem magnetického pole uspořádány do řetízků. Na obrázku 4.3.3b je vidět velká částice uvolněná při velmi silném tření. Částice na obrázku 4.3.3c vznikla při zadírávání motoru, čemuž odpovídá i její charakteristický tvar podobný šponám při obrábění či řezání kovů. Výskyt takových částic v oleji znamená demontáž motoru a zjištění příčiny vzniku těchto částic. [15]

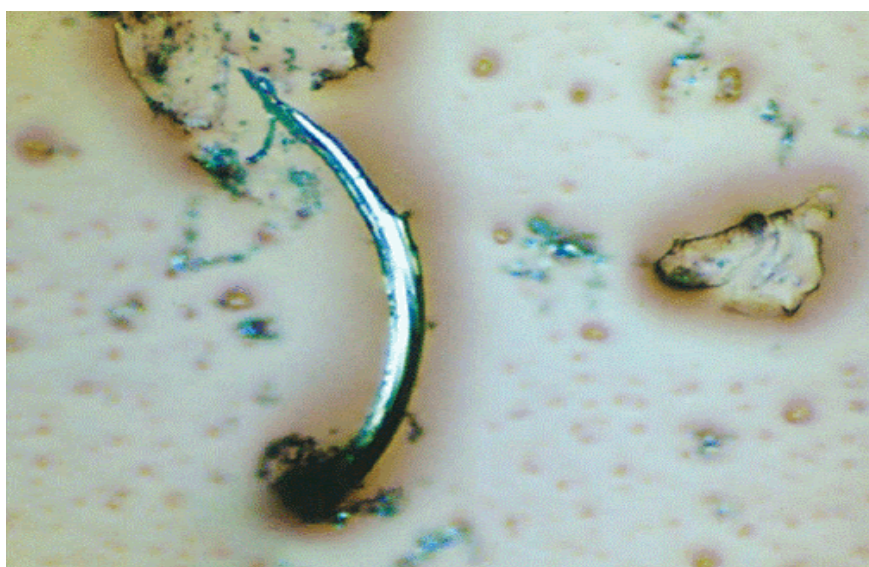




*Obr. 4.3.3a Malé částice normálního opotřebení [15]*



*Obr. 4.3.3b Částice vzniklé při intenzivním opotřebení [15]*



*Obr. 4.3.3c Částice vznikající při zadírání [15]*

Dnešní moderní mikroskopy umožňují nejen sledování a hodnocení tvaru částic, ale díky speciálnímu nasvícení vyhodnocované částice pomocí barevných průchodkových a odrazových světél, nebo použitím polarizovaného či ultrafialového světla je možné odhadnout i materiál částice (železo, barevný kov, prachová částice, částice polymeru a podobně). [15]

#### 4.3.4 Analýza kovů v oleji

Analýza kovů v oleji se běžně provádí jen u určitých typů motorů, jako jsou například motory testovací. Výsledkem takové analýzy je laboratorní protokol, kde jsou uvedeny koncentrace kovů v analyzovaném oleji. Koncentrace je uváděna v jednotkách ppm. Tato zkratka znamená "part per milion". Jedno ppm je tedy jedna miliontina celku.

Určitá hladina kovů v oleji je zcela běžná a nelze jí zabránit, neboť i při normální práci motoru dochází ke kontaktům mezi kovovými povrchy, což vede k jejich otěru. Normální otěrové částice jsou malých rozměrů a není jich mnoho. Při zvýšeném odírání některého dílu motoru dochází ke zvýšení koncentrace určitých kovů v oleji. Při velmi silném tření či při zadírání může koncentrace kovů dosáhnout velmi vysokých hodnot (až stovek ppm).

Hodnoty limitních koncentrací konstrukčních kovů u velkých vznětových a zážehových motorů jsou uvedeny v následující tabulce 4.3.4. Jsou zde uvedeny limity pro normální opotřebení, zvýšené opotřebení a pro nebezpečné až havarijní opotřebení, kdy je třeba zastavit pracovní činnost motoru.

Tab. 4.3.4 Limitní koncentrace kovů v motorovém oleji (ppm) [15]

Kov	Velké vznětové motory - opotřebení			Benzinové motory - opotřebení		
	normální	zvýšené	nebezpečné	normální	zvýšené	nebezpečné
Železo	pod 50	50 - 75	nad 75	pod 120	120 - 150	nad 150
Měď	pod 30	30 - 45	nad 45	pod 25	25 - 35	nad 35
Chrom	pod 12	12 - 20	nad 20	0 - 17	17 - 25	nad 25
Nikl	pod 25	25 - 40	nad 40	pod 25	25 - 40	nad 40
Hliník	pod 25	25 - 35	nad 35	pod 35	35 - 50	nad 50
Olovo	pod 25	25 - 40	nad 40	pod 25	25 - 40	nad 40
Cín	pod 5	5 - 12	nad 12	pod 5	5 - 12	nad 12
Křemík	pod 25	-	nad 25	pod 25	-	nad 25

Tyto limitní hodnoty jsou pro každou značku automobilu specifické. Výrobci velkých vznětových motorů často uvádějí pro všechny typy svých motorů stejné limity koncentrací kovů. Avšak limity udávané různými výrobci se mohou od sebe lišit. [15]

#### 4.4 Stanovení množství nečistot v oleji

Nečistoty významným způsobem ovlivňují kvalitu motorového oleje. V praxi se často používají testy a metody, které nám pomáhají vyhodnotit množství nečistot obsažených v testovaném oleji. Autor se zde zaměřil na nejpoužívanější z nich.

##### 4.4.1 Kapkový test

Nejstarším a zároveň i nejjednodušším testem odhadu množství nečistot v oleji je takzvaný kapkový test. Tento test spočívá ve vyhodnocení vzhledu olejové kapky na filtračním papíře viz obrázek 4.4.1. Test je poměrně spolehlivý, nicméně v dnešní době stále méně použitelný. Důvodem jsou značně zlepšené detergentní a dispergační vlastnosti současných motorových olejů, které nedovolí kapce oleje na filtračním papíru vytvářet správné obrazce potřebné pro objektivní posouzení znečištění. [14]



*Obr. 4.4.1 Kapkový test s projevy znečištěných olejů [14]*

##### 4.4.2 Filtrace přes mikroporézní filtr

Další již přesnější metodou zjištění množství nečistot v motorovém oleji je filtrace přes mikroporézní filtr s velikostí pórů přibližně 0,8 mikrometru. Olej je třeba předem rozpustit ve vhodném rozpouštědle z důvodu snížení jeho viskozity, čímž se usnadní i jeho filtrace přes tento jemný filtr.

Stupeň znečištění oleje se stanovuje na přesných laboratorních vahách. Nejprve se určí úbytek hmotnosti přefiltrovaného oleje a následně se výpočtem stanoví hmotnostní procento odfiltrovaných nečistot z oleje. [14]

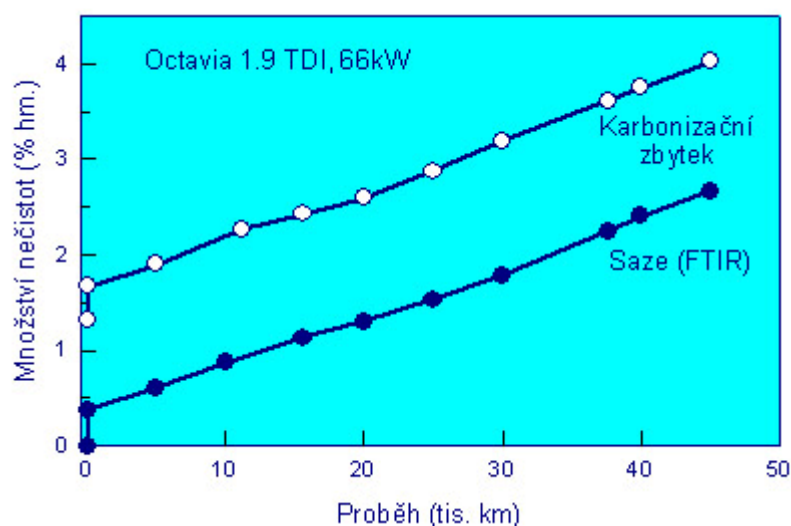
##### 4.4.3 Odstředování nečistot

V některých případech se stanovuje množství nečistot v motorovém oleji odstředováním. Testovaný vzorek oleje je umístěn do speciální kalibrované nádoby s ryskami, která se posléze vkládá do výkonné odstředivky. Při procesu odstředování se mechanické nečistoty hromadí na dně nádoby, kde se jejich množství odečte na příslušných ryskách. [14]

#### 4.4.4 Moderní způsoby stanovení nečistot

Je třeba říci, že výše uvedenými postupy lze stanovit jen poměrně velké částice nečistot, kterých však v dnešních olejích není mnoho a to hlavně díky relativně kvalitní filtraci. Pro stanovení celkových nečistot v motorových olejích a to včetně těch nejmenších částeczek sazí se v současné době nejčastěji používá infračervená spektroskopie. Saze a další nečistoty nepropouštějí světlo, čímž způsobují při měření infračerveného spektra zvýšení takzvané základní linie, která se měří při  $2000\text{ cm}^{-1}$ . Čím vyšší je obsah sazí a dalších nečistot v testovaném oleji, tím větší bude zvýšení základní linie od normálu. Vhodnou kalibrací je možné z nárůstu intenzity základní linie určit hmotnostní procenta sazí v motorovém oleji. Příklad množství sazí v závislosti na ujetých kilometrech je vyjádřen grafem na obrázku 4.4.4. Testovaný olej pocházel z dieselového motoru škoda octavia.

Dalším ukazatelem znečištění oleje je stanovení karbonizačního zbytku, taktéž viz obrázek 4.4.4. Tento zbytek se stanovuje zahříváním vzorku oleje na teplotu  $500\text{ °C}$  v atmosféře dusíku a vyjadřuje se v hmotnostních procentech v závislosti na ujetých kilometrech. U olejů ze vznětových motorů je nárůst karbonizačního zbytku způsoben především sazemi, případně i jinými nečistotami. U olejů benzínových motorů způsobují nárůst karbonizačního zbytku převážně produkty oxidační a termické degradace oleje. [14]

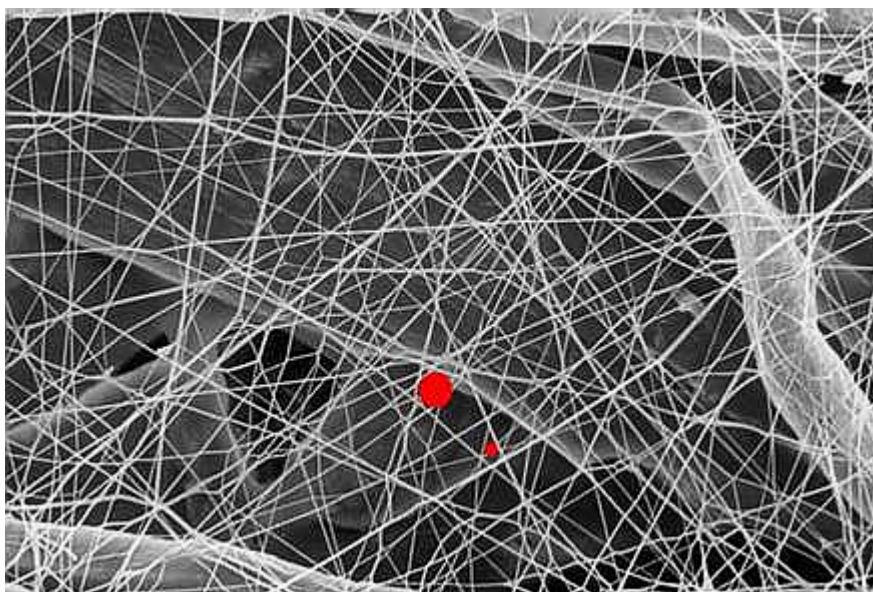


Obr. 4.4.4 Graf množství nečistot v závislosti na ujetých kilometrech [14]



## 5. Nanovlákná

Nanovlákná rozumíme vlákna o průměru menším, než jeden mikrometr [Jirsák, 2003]. Rozměry nanovláken jsou tedy tak malé, že je lze reálně zaznamenat pouze pomocí elektronového mikroskopu. Díky svým malým rozměrům mají velký měrný povrch a nízkou plošnou hmotnost (obvykle  $0,1 - 1 \text{ g / m}^2$ ). Další vyjímečnou vlastností je velká pórovitost vlákenné vrstvy a malý rozměr pórů. Vzhledem k nízké hmotnosti se při jejich výrobě spotřebuje jen malé množství polymeru, což je výhodné z materiálového i ekonomického hlediska. [5] [10]



Obr. 5 Nanovlákná v porovnání s vlákny celulóзовými (elektronová mikroskopie) [1]

### 5.1 Výroba nanovláken

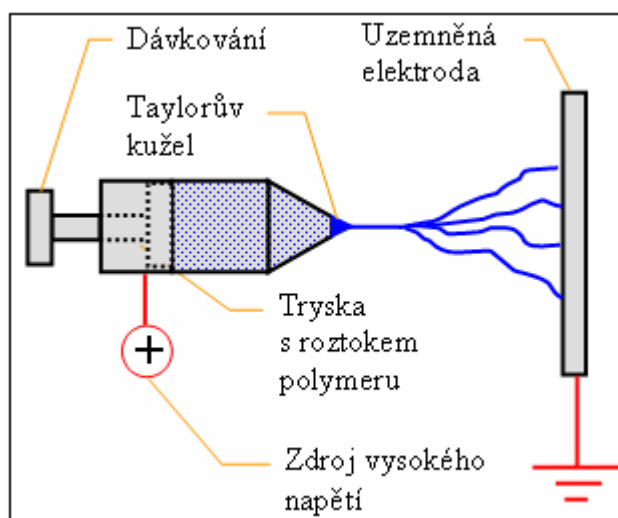
Existuje řada způsobů výroby nanovláken. Mezi nejobvyklejší patří využití technologie meltblown (rozfukování taveniny horkým vzduchem) s nastavením pro tvorbu velmi jemných vláken o průměrech přibližně 500nm. Dále pak metoda elektrospinning. Autor se zde zaměřil na popis metody elektrospinning a její modifikace Nanospider. [4]

#### 5.1.1 Metoda elektrospinning

Elektrospinning je metoda výroby ultra jemných vláken z polymerního roztoku, nebo polymerní taveniny za přítomnosti vysokého napětí a silného elektrostatického pole. Častěji jsou zvláknovány polymery z roztoků, protože vyšší viskozita taveniny z pravidla neumožňuje tvorbu dostatečně jemných vláken. Elektrostaticky zvlákněná nanovlákná mají řadu nenahraditelných vlastností, které je činí velmi vhodnými pro

širokou škálu aplikací, jako jsou vysoce účinné filtry, separační membrány, výztuhy pro kompozitní materiály, biologické aplikace, tkáňové inženýrství apod. [16]

Princip elektrostatické tvorby nanovláken je znázorněn na obrázku 5.1.1. Roztok je dávkovacím zařízením vytlačován z trysky, která je zároveň jednou z elektrod. Působením elektrostatického pole mezi elektrodami dochází k vytahování vláknenného útvaru směrem k opačné elektrodě a následnému rozštěpení na jemná vlákna. Jejich měrný povrch je značně velký, což způsobuje vysušení vláken ještě před dopadem na opačnou elektrodu. [4]



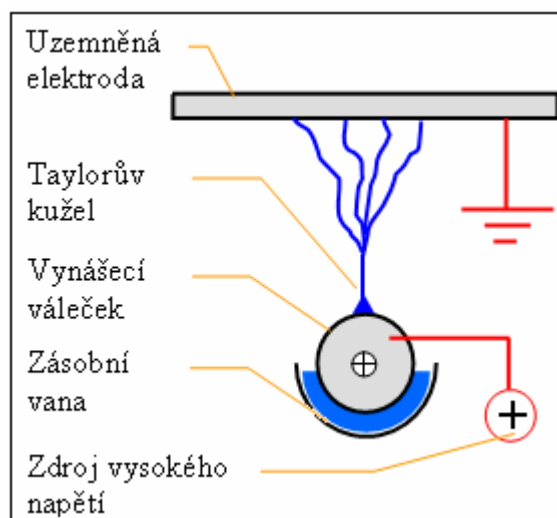
Obr. 5.1.1 Princip zvlákňování metodou elektrospinning [4]

Nevýhodou elektrostatického zvlákňování je velmi malá výrobnost zvlákňovacího zařízení a hmotová nestejnoměrnost vzniklé vrstvy. Proto byla na Katedře netkaných textilií Fakulty textilní vyvinuta metoda Nanospider v různých variantách, která je nástupcem této metody. [4]

### 5.1.2 Metoda Nanospider

Principem, jak ukazuje obrázek 5.1.2 je elektroda tvaru válečku částečně ponořená v roztoku polymeru. Tenká vrstvička polymeru je rotačním pohybem válečku vynášena blíže elektrodě opačné polaroty. V horní úvrati rotačního pohybu válečku se v důsledku maximální intenzity elektrostatického pole mezi elektrodami začnou vytvářet četná ohniska Taylorových kuželů. Následný princip tvorby nanovláken je již shodný s metodou elektrospinning. Výrobnost této technologie se pohybuje v rozmezí 1 až 5 g.min<sup>-1</sup>, což je ve srovnání s výrobností 0,1 až 1 g. hod<sup>-1</sup> u metody elektrospinning výrazný pokrok. [4] [21]

Dalším rysem metody Nanospider je využití proudu vzduchu pro co nejefektivnější odstranění rozpouštědla ze vznikajících vláken, případně i dosažení lepší hmotové stejnoměrnosti a objemnosti vznikající vláknenné vrstvy. Vzniklá nanovláknna se ukládají na odváděcí pás či na podkladovou textilií. [4]



Obr. 5.1.2 Princip zvlákňování metodou Nanospider [4]

• *Parametry nastavované u metody Nanospider jsou:*

Napětí nastavená na jednotlivých elektrodách, vzdálenost elektrod, geometrie elektrod (velikost vynášecího válečku a zásobní vničky), rozmístění a tvar elektrod, rychlost a směr otáčení vynášecího válečku, odváděcí rychlost podkladového materiálu, rychlost proudění vzduchu, elektrické vlastnosti podkladového materiálu a vlastnosti použitého polymerního roztoku (jeho elektrická vodivost, viskozita a povrchové napětí). [4]

## 5.2 Výhody nanovláken při filtračních procesech

Použití nanovláken při filtračních aplikacích je výhodné ze tří hlavních hledisek, které jsou pro tento materiál charakteristické.

### 1.) Velký měrný povrch vláken

Z hlediska filtrace je měrný povrch důležitou veličinou. Čím je tento povrch větší, tím se zvětšuje i pravděpodobnost interakce mezi ním a zachytávanými částicemi. Pro názornost lze uvést, že jeden gram vláken o průměru  $10\mu\text{m}$  má povrch přibližně  $0,3\text{m}^2$ , zatímco jeden gram vláken o průměru  $100\text{nm}$  má povrch přibližně  $30\text{m}^2$ , což je znatelný rozdíl.

## 2.) *Malé póry*

Malé rozměry a velký počet pórů nanovlákněné vrstvy přispívá k zachytu velmi malých nečistot, které by konvenčními filtračními materiály snadno pronikly.

## 3.) *Specifické podmínky obtékání nanovlákn*

Díky okrajové podmínce skluzu po vlákne je protékající médium (vzduch, kapalina) méně bržděno povrchem vlákna, což se určitým způsobem projeví na hodnotě tlakového spádu. [4]

- Nanovlákněné materiály jsou tedy vhodné zejména pro vysoce účinnou filtraci velmi malých částec nečistot v řádu 500nm a menších. Mohou například účinně odfiltrovat velmi jemné prachové částice, tabákový kouř či biologické struktury, jako jsou nebezpečné bakterie a viry, jejichž typické velikosti jsou uvedeny v následující tabulce 5.2. [10] [16]

*Tab. 5.2 Příklady velikostí biologických struktur [16]*

<i>Příklady biologických struktur</i>	<i>Rozměry [nm]</i>
Leukocyty	10000
Bakterie	1000 - 10000
Viry	75 - 100
Proteiny	5 - 50
DNA (šířka)	2
Atom	0,1



## 6. Experimentální část

Tato část práce popisuje filtrační experiment a mikroskopické zhodnocení efektivity nanovlákného filtru dle velikostí a množství částic nečistot nalezených ve vzorcích znečištěného oleje před a za filtrem. Tyto experimenty byly uskutečněny v laboratořích Katedry netkaných textilií a byly k nim použity měřicí zařízení a materiály, které jsou dále podrobněji popsány.

### 6.1 Cíl a popis experimentu

Hlavním cílem tohoto experimentu bylo nalezení a testování vhodné nanovlákné textilie, která by byla použitelná jako médium pro velmi účinnou filtraci motorového oleje.

Jak již bylo popsáno dříve, ve vzorcích oleje ze spalovacího motoru se mohou zcela běžně vyskytovat částice nečistot (otěrové kovy, prach, shluky sazí...) o rozměrech až desítek mikrometrů. Při tomto experimentu byl primárním předpokladem efektivní záchyt částic nečistot v řádu od jednoho mikrometru výše.

*Experiment se ve své podstatě skládal ze čtyř částí:*

- Prvotním úkolem bylo ověřit funkčnost testovacího filtračního zařízení. Pro testování nanovlákných filtračních materiálů bylo třeba použít speciální měřicí trať, jejíž vývoj se stal součástí předchozích prací, nicméně bylo nutno doladit některé z komponent a ověřit výsledný technický stav celého zařízení. Šlo především o zhodnocení průchodnosti cele trati a zjištění případných netěsností v soustavě přepouštěcích hadiček, které by mohly neblaze upravit průběh celého experimentu a ovlivnit způsob měření tlakového spádu. Při ověřování činnosti bylo provedeno několik měření na prázdko a následně i se vzorky textilie v kombinaci spunbond + meltblown, přes které byl přepouštěn čistý polosyntetický olej 10W40 při různých teplotách.

- Jako další úkol bylo nutné nalézt vhodné textilie s obsahem nanovláken, zjistit jejich technické a materiálové parametry, vytvořit vzorky požadované velikosti dle rozměrů rozebíratelného filtru a ověřit jejich propustnost vzhledem k rostoucí teplotě oleje. Pro zjišťování vlivu teploty oleje na propustnost nanovlákných vrstev byl taktéž použit čistý polosyntetický olej běžné viskozitní třídy 10W40.

- Po nalezení vhodného nanovlákného materiálu následoval další bod tohoto experimentu, kterým byla filtrace provozem znečištěného polosyntetického motorového oleje 10W40 přes vzorek této nanovlákné vrstvy. Přefiltrovaný olej byl zachycen do předem připravené plastové nádoby a připraven ke zhodnocení.

- Jako poslední a tedy i stěžejní částí celého pokusu bylo vyhodnocení efektivity nanovlákného filtru na základě mikroskopického posouzení množství a velikostí částic nečistot ve vzorcích oleje před a za filtrem.

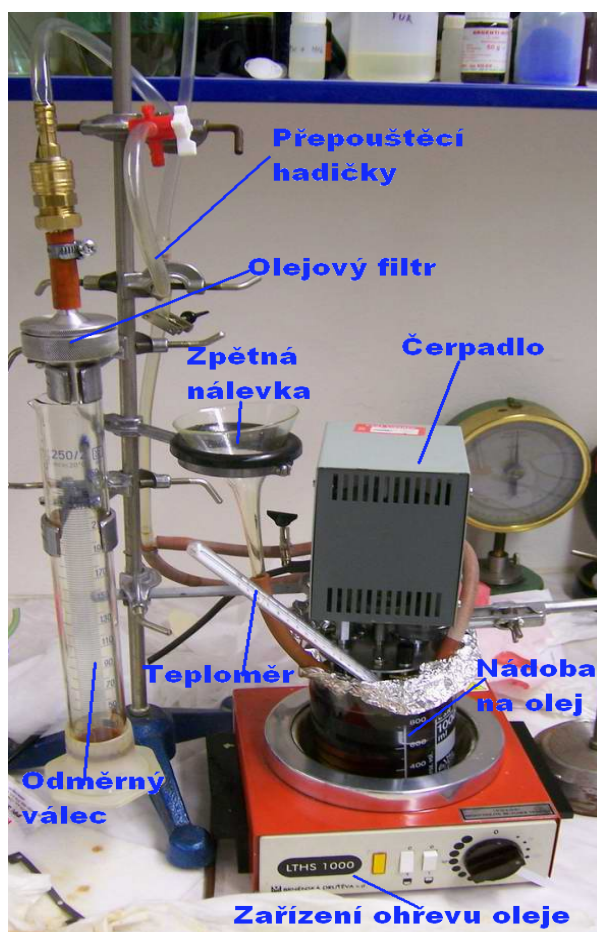
## 6.2 Parametry experimentu

V této části jsou blíže popsány parametry zařízení a vzorků textilií, které byly pro tento experiment použity.

### 6.2.1 Popis filtrační tratě

Toto zařízení bylo použito za účelem simulace podmínek v mazací soustavě spalovacího motoru a je znázorněno na obrázku 6.2.1.

*Hlavními součástmi zde jsou:* Zařízení ohřevu oleje s plynulou regulací teploty, nádobka na olej, teploměr, čerpadlo zajišťující tlak oleje v soustavě, prepouštěcí hadičky, rozebíratelný olejový filtr s vyměnitelnou filtrační vložkou, odměrný válec pro určení množství a záchyt přefiltrovaného oleje a zpětná nálevka na olej. Tlak v celém okruhu byl měřen připojeným digitálním tlakoměrem.



Obr. 6.2.1 Laboratorní zařízení pro testování nanovlákných filtrů

### 6.2.2 Parametry testovaných vzorků

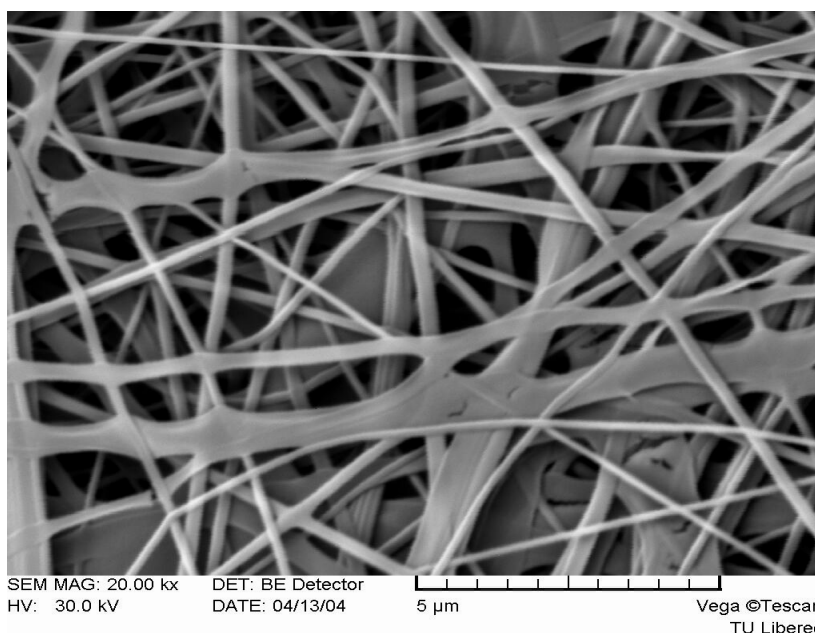
Z níže popsaných textilií bylo vytvořeno větší množství vzorků kruhového průměru 4,2 cm, které byly podle aktuálnosti měření upínány do filtračního zařízení. Činná plocha výsledného filtru byla 5,94 cm<sup>2</sup>.

- **Testovací textilie SB + MB**

Dvouvrstvá textilie vyrobená metodami spunbond a meltblown, materiál polypropylén, pojení provedeno rastrovacím kalandrem. Plošná hmotnost každé vrstvy je 15 g/m<sup>2</sup>, hmotnostní poměr vrstev 1 : 1, tloušťka textilie 0,15 mm, nominální průměr vláken SB vrstvy 20 μm, MB vrstvy 3,5 μm.

- **Nanovláknenná textilie z PU zvlákněná na podkladu SB**

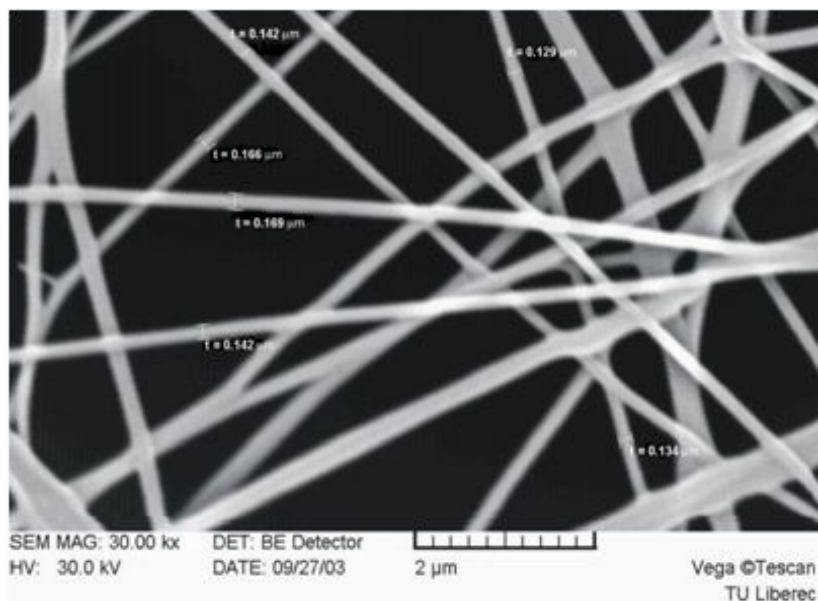
Polyuretanová nanovláknenná vrstva o plošné hmotnosti 2,3 g/m<sup>2</sup> vyrobená zvláknňovací metodou Nanospider, nominální průměr nanovláken 350 nm. Podkladová textilie z polypropylénu s hydrofilizovaným povrchem vyrobená metodou spunbond a pojena rastrovacím kalandrem. Plošná hmotnost podkladové vrstvy 20 g/m<sup>2</sup>.



Obr. 6.2.2a Použitá polyuretanová nanovláknna (elektronová mikroskopie)

- **Nanovláknenná textilie z PA zvlákněná na podkladu SB**

Polyamidová nanovláknenná vrstva o plošné hmotnosti 0,3 g/m<sup>2</sup> vyrobená zvláknňovací metodou Nanospider, nominální průměr nanovláken 150 nm. Podkladová textilie z polypropylénu s hydrofilizovaným povrchem vyrobená metodou spunbond a pojena rastrovacím kalandrem. Plošná hmotnost podkladové vrstvy 20 g/m<sup>2</sup>.

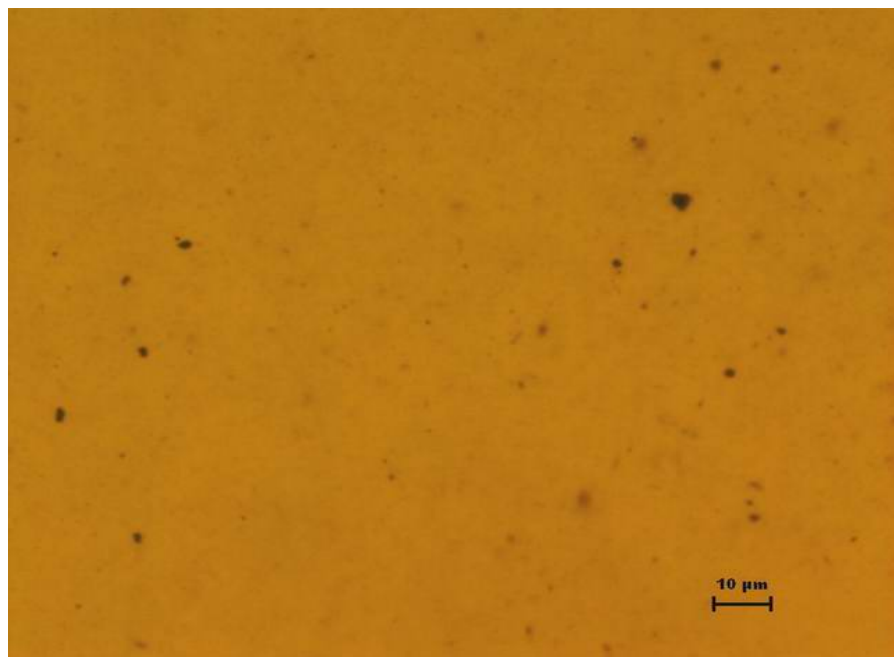


*Obr. 6.2.2b Použitá polyamidová nanovlákná (elektronová mikroskopie)*

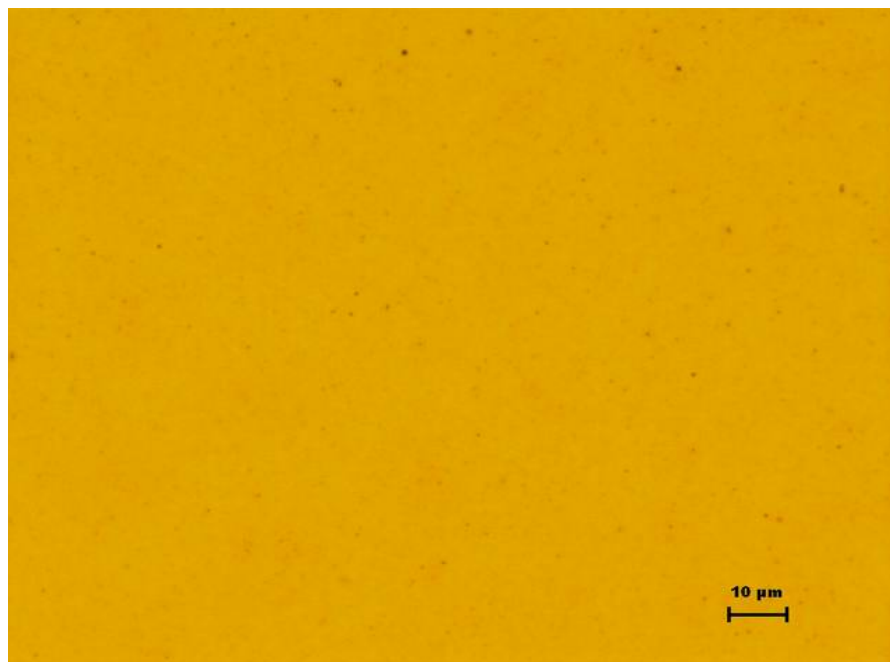
### **6.2.3 Parametry vyhodnocování efektivity**

Pro stanovení efektivity nanovláknenného filtru bylo nutné provést mikroskopické zhodnocení velikostí a množství částic nečistot ve vzorcích oleje před a za filtrem (viz následující obrázky 6.2.3a, 6.2.3b).

K tomuto měření byl použit laboratorní optický mikroskop Nikon Eclipse LV 100 u kterého bylo předpokladem pozorování částic přibližně od velikosti 700 nm. Vzorky oleje byly vyhodnocovány při pětiset násobném zvětšení.



*Obr. 6.2.3a Částice nečistot nalezené ve vzorku oleje před filtrem*



*Obr. 6.2.3b Částice nečistot nalezené ve vzorku oleje za nanovlákným filtrem*

### 6.3 Výsledky experimentu

Tato část zahrnuje ověření funkčnosti filtrační tratě, stanovení propustnosti použitých nanovlákných vrstev v závislosti na teplotě oleje a grafické vyhodnocení efektivity nanovlákného filtru dle mikroskopického zhodnocení vzorků oleje.

#### 6.3.1 Ověření filtrační tratě

Základem celého experimentu bylo ověření bezchybné funkčnosti použitého filtračního zařízení, které nebylo delší dobu v provozu.

Bylo zde provedeno několik měření na prázdko a následně i se vzorky testovací textilie SB + MB při různých teplotách procházejícího oleje (viz tabulky 6.3.1a, 6.3.1b). Jako testovací kapalina byl použit čistý polosyntetický olej 10W40, který byl v zařízení ohříván a následně přepouštěn, při čemž byl měřen čas průtoku při určité teplotě.

*Tab. 6.3.1a Měření na prázdko*

Číslo měření	Průtok oleje [ml]	Teplota oleje [°C]	Čas průtoku [s]	Tlak [Pa]
1.	100	60	10,95	3500
2.	100	70	8,75	3300
3.	100	80	7,61	3100
4.	100	90	6,83	3000
5.	100	100	6,36	3000

Tab. 6.3.1b Měření se vzorky textilie SB + MB

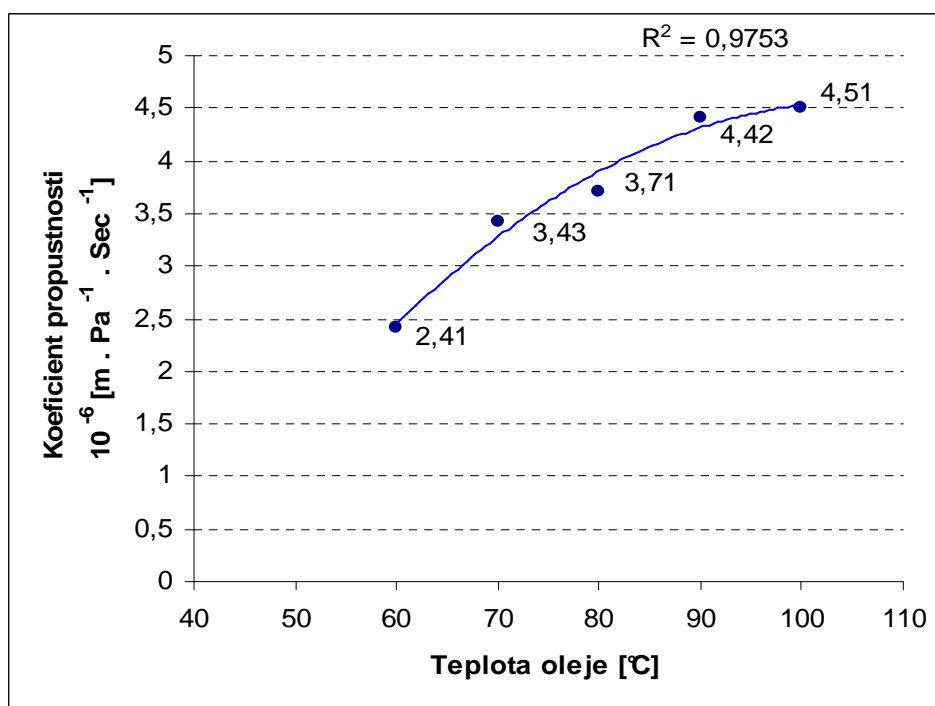
Číslo měření	Průtok oleje [ml]	Teplota oleje [°C]	Čas průtoku [s]	Tlak [Pa]
1.	100	60	31,90	5700
2.	100	70	22,34	5500
3.	100	80	20,62	5300
4.	100	90	19,04	5000
5.	100	100	17,81	5100

Z naměřených hodnot lze stanovit závislost koeficientu propustnosti na teplotě oleje u textilie SB + MB, kde předpokladem bylo, že s rostoucí teplotou se tento koeficient bude zvyšovat.

Vztah pro výpočet koeficientu propustnosti je následující:

$$K = \frac{Q_c}{\Delta p \cdot A} [\text{m} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}]$$

Kde  $Q_c$  je množství oleje, které proteče vzorkem za jednotku času [ $\text{m}^3 / \text{sec}^{-1}$ ].  $\Delta p$  je tlakový rozdíl před a za filtrem [ $\text{Pa}^{-1}$ ].  $A$  je činná plocha filtru [ $\text{m}^2$ ].



Obr. 6.3.1 Graf závislosti koeficientu propustnosti na teplotě oleje

Z grafu je patrné, že s rovnoměrně rostoucí teplotou oleje se nerovnoměrně zvyšoval i koeficient propustnosti textilie, což bylo výchozím teoretickým předpokladem. Je to způsobeno poklesem viskozity (zvýšením tekutosti) oleje směrem k vyšším teplotám.

### 6.3.2 Vliv teploty na propustnost nanovláknenných vrstev

Tyto testy měly za úkol ověřit propustnost nanovláknenných vrstev vzhledem k rostoucí teplotě oleje. Předpokladem bylo, že s rostoucí teplotou oleje poroste i jejich propustnost. Jako testovací olej byl opět použit čistý polosyntetický olej 10W40.

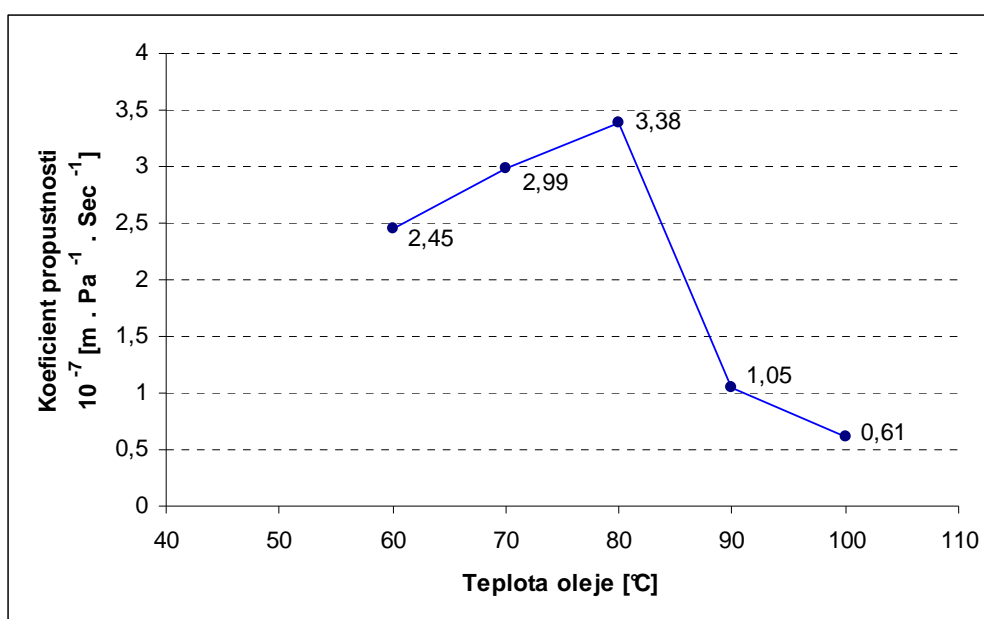
- **Propustnost PU nanovláknenné vrstvy**

Při testování vlivu teploty oleje na propustnost této vrstvy bylo provedeno pět měření (viz tab. 6.3.2a), kde bylo zjištěno následující:

Tab. 6.3.2a Hodnoty průtočných časů u PU vrstvy v závislosti na teplotě oleje

Číslo měření	Průtok oleje [ml]	Teplota oleje [°C]	Čas průtoku [s]	Tlak [Pa]
1.	10	60	24,50	6300
2.	10	70	19,41	6200
3.	10	80	15,56	6300
4.	10	90	51,90	6100
5.	10	100	87,52	6200

Po dosazení naměřených hodnot do grafu (viz obr. 6.3.2a) je patrný výrazný pokles propustnosti v rozmezí teplot 80 – 100 °C. Tyto teploty jsou charakteristické zejména jako pracovní teploty oleje ve spalovacím motoru a tudíž se tato vrstva ukázala jako neperspektivní. Důvodem zhoršení propustnosti vrstvy bylo srážení vláken při zvýšených teplotách, kde významnou roli sehrály i aditivační složky motorového oleje.



Obr. 6.3.2a Koeficient propustnosti PU vrstvy v závislosti na teplotě oleje

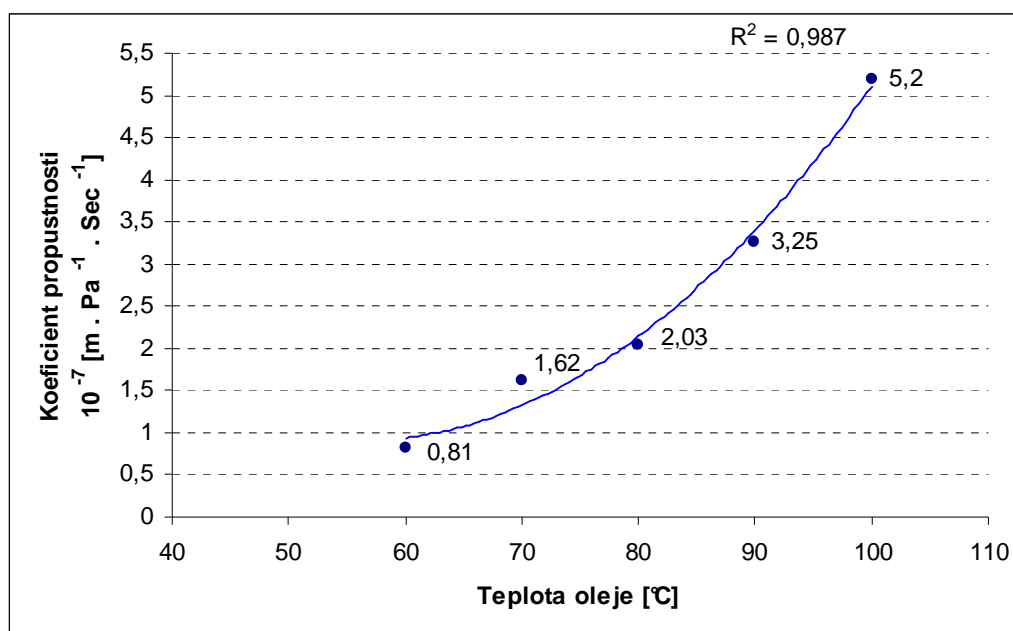
- **Propustnost PA nanovláknenné vrstvy**

Pro zjištění vlivu teploty oleje na propustnost této vrstvy bylo taktéž provedeno pět měření (viz tab. 6.3.2b), kde bylo zjištěno následující:

*Tab. 6.3.2b Hodnoty průtočných časů u PA vrstvy v závislosti na teplotě oleje*

Číslo měření	Průtok oleje [ml]	Teplota oleje [°C]	Čas průtoku [s]	Tlak [Pa]
1.	10	60	69,81	6500
2.	10	70	31,86	6600
3.	10	80	23,71	6600
4.	10	90	14,81	6500
5.	10	100	9,53	6400

Naměřené hodnoty byly následně sestaveny do grafu (viz obr. 6.3.2b), který názorně ukazuje, jak s přibývajícím teplotou oleje roste i koeficient propustnosti přes polyamidovou nanovláknennou vrstvu. V rozmezí pracovních teplot, to jest 80 - 100 °C vykazuje průběh propustnosti v závislosti na teplotě téměř lineární charakter, což u předchozího materiálu zaznamenáno nebylo.



*Obr. 6.3.2b Koeficient propustnosti PA vrstvy v závislosti na teplotě oleje*

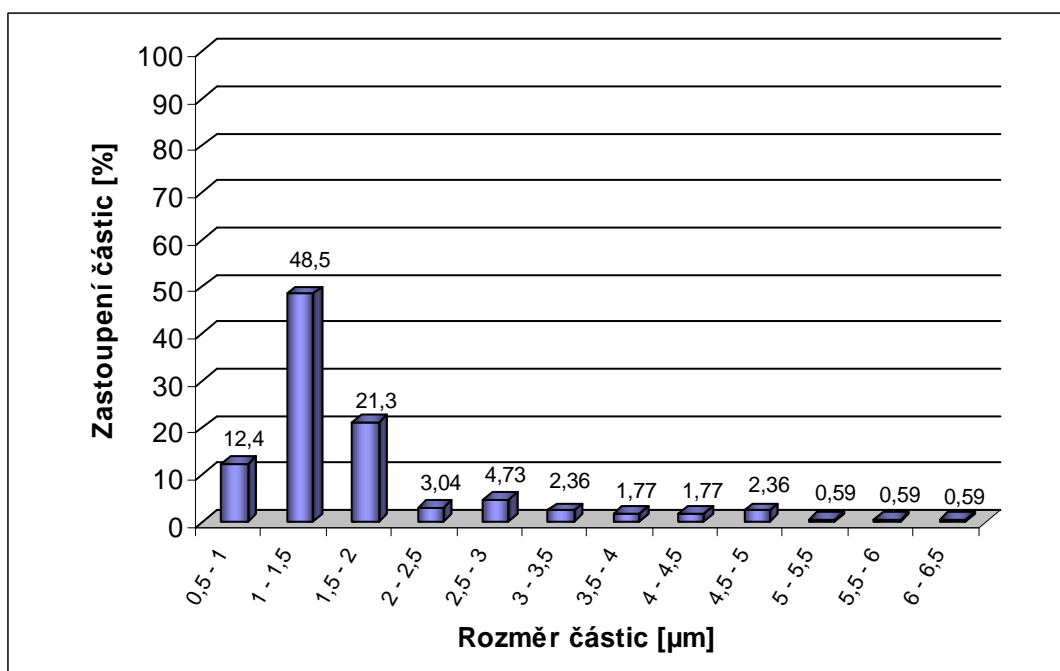
Z tohoto měření vyplývá, že nanovláknenná vrstva z polyamidu je pro tento experiment z hlediska svých parametrů (tlakový spád, odolnost vůči okolním podmínkám) vhodným materiálem a lze ji použít pro stěžejní část tohoto experimentu, čímž je vyhodnocení efektivity nanovláknenné filtrace.



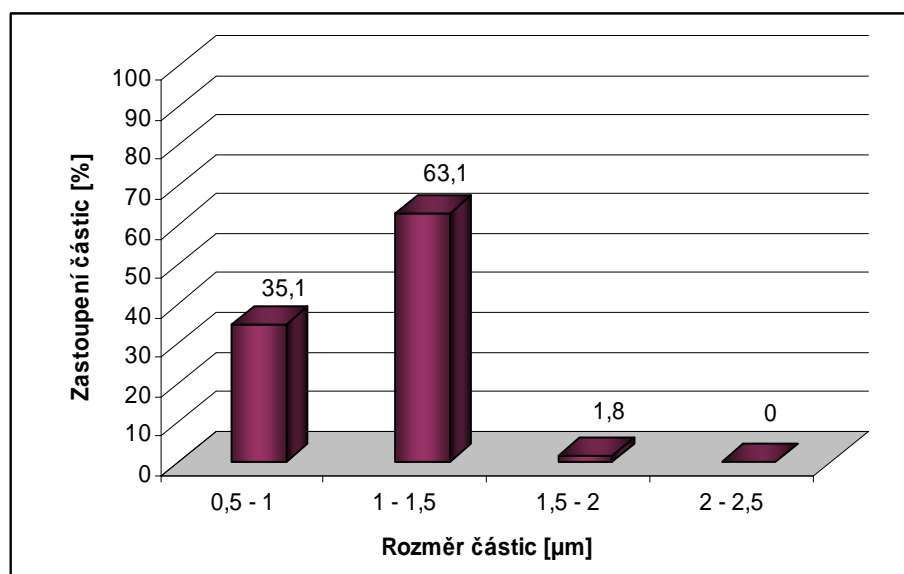
### 6.3.3 Stanovení efektivity filtrace

Pro stanovení efektivity PA filtru, který se pro tento experiment ukázal jako nejvhodnější byl použit provozem znečištěný polosyntetický olej 10W40. Vzorek oleje byl filtrován přes nanovláknennou vrstvu při teplotě 90 °C a mikroskopicky zhodnocen.

- Následující histogramy znázorňují procentuelní zastoupení částic nečistot a jejich charakteristické velikostní třídy, které byly při mikroskopickém měření nalezeny ve vzorcích oleje před a za filtrem.



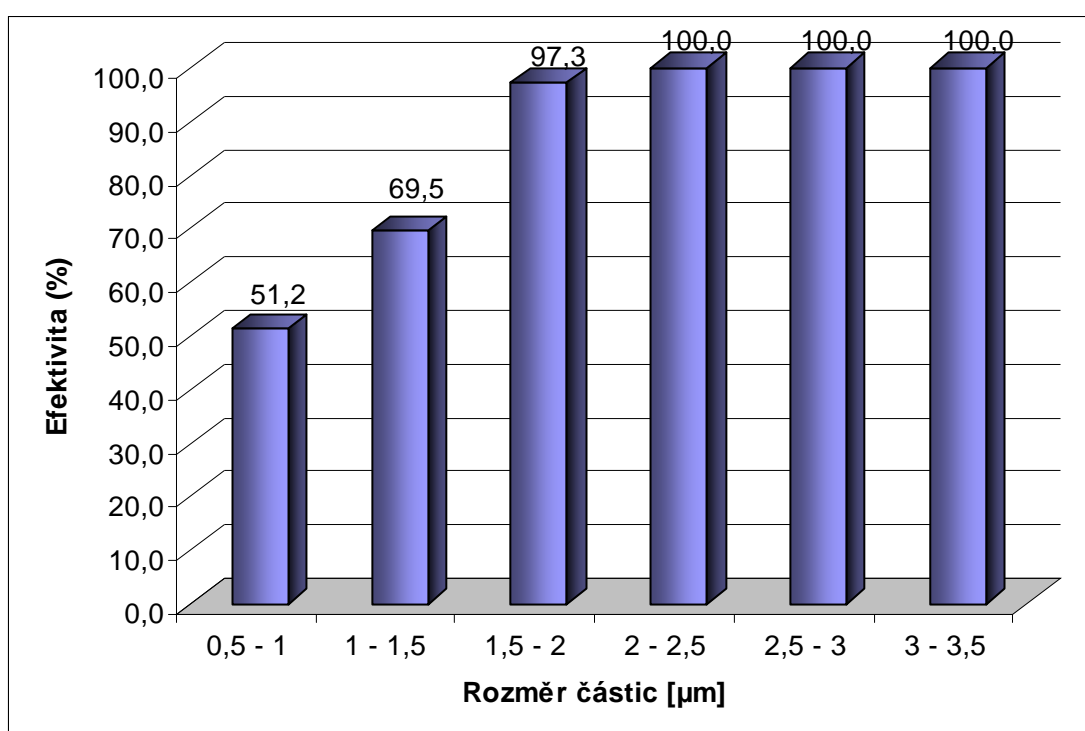
Obr. 6.3.3a Histogram zastoupení částic ve vzorku oleje před filtrem



Obr. 6.3.3b Histogram zastoupení částic ve vzorku oleje za filtrem

K výše uvedeným grafům lze pro upřesnění říci, že počet nalezených částic ve vzorcích oleje za filtrem byl přibližně třikrát menší než počet částic nalezených ve vzorcích oleje před filtrem.

- Z mikroskopicky naměřených hodnot byla následně stanovena efektivita PA nanovlákného filtru u nějž byl předpokladem účinný záchyt nečistot v řádu od jednotek mikrometrů výše. Zde je třeba uvést i fakt, že vzhledem k rozlišení optického mikroskopu nebylo možné zcela reálně stanovit zastoupení částic přibližně pod 700 nm, kde jejich velikost již byla na hranici měřitelnosti.



*Obr. 6.3.3c Histogram efektivit PA nanovlákného filtru*

Z histogramu je patrné, že částice o velikostech nad 2 mikrometry byly odfiltrovány se 100 % účinností. Pro porovnání lze uvést, že konvenčně používané olejové filtry na bázi celulózy jsou schopny účinně filtrovat částice řádově nad 10 mikrometrů.

## 7. Závěr

Při tomto experimentu bylo nejprve provedeno ověření funkčnosti testovacího filtračního zařízení, které má za úkol simulovat podmínky v mazací soustavě spalovacího motoru. Jako další proběhly testy nanovlákných vrstev z polyuretanu a polyamidu z hlediska jejich propustnosti vzhledem k teplotě procházejícího oleje. Na základě výsledků testu propustnosti byla vybrána ta vrstva, která svými vlastnostmi odpovídá použití pro filtraci motorového oleje. Hlavním předpokladem oproti konvenčně používaným materiálům zde byl účinný záchyt částic v řádu od jednoho mikrometru výše.

Prvně testovaná nanovlákná vrstva z polyuretanu se ukázala jako neperspektivní, protože vykazovala při teplotách oleje nad 80 °C výrazné snížení koeficientu propustnosti. Tento fakt je z hlediska filtrace oleje nepřijatelný, neboť jeho pracovní teploty v motoru se pohybují většinu provozní doby nad 80 °C. Důvodem zhoršení propustnosti této vrstvy bylo srážení vláken při zvýšených teplotách, kde významnou roli sehrály i aditivační složky motorového oleje. Z tohoto důvodu nebyla u této vrstvy dále hodnocena efektivita záchytu částic.

Další testovaná nanovlákná vrstva z polyamidu již svými vlastnostmi (koeficient propustnosti, tlakový spád, odolnost vůči okolnímu prostředí) vyhovovala použití pro tento experiment. Pro zhodnocení efektivy byl přes tuto vrstvu filtrován provozem znečištěný polosyntetický motorový olej 10W40. Jako další proběhlo mikroskopické vyhodnocení velikosti a množství částic ve vzorcích oleje před a za filtrem. Na základě mikroskopických měření byla stanovena efektivita filtrace, kde 100% záchyt částic byl od velikosti 2 mikrometry, čímž se potvrdil i výchozí teoretický předpoklad. Pro porovnání lze uvést, že konvenčně používané olejové filtry na bázi celulózy jsou schopny účinně filtrovat částice řádově nad 10 mikrometrů.

Nanovlákná vrstva z polyamidu se tedy ukázala jako perspektivní z hlediska využitelnosti pro filtraci motorového oleje. Dále lze uvést i výhodnost z hlediska ekonomického, kdy plošná hmotnost pouhých 0,3 g/m<sup>2</sup> zaručuje nízkou spotřebu polymeru. Nevýhodou je vyšší hodnota tlakového spádu oproti konvenčním materiálům, což má vliv na požadovanou filtrační plochu a tím i na rozměry filtru. Nutné je také zjistit rychlost zanášení filtru a tím i jeho životnost.

## 8. Seznam použité literatury

- [1] Amsoil [online].: 1996-2011 [cit. 2011-01-23]. Donaldson Endurance™ Oil Filters. Dostupné z www: <http://lasvegasamsoildealer.syntheticmotoroilbenefitsandadvantages.com/oil-and-air-filtration/substitute-oil-air-filters/donaldson-oil-air-filters/endurance-oil-filters>.
- [2] Bawel [online].: 2000 [cit. 2011-01-18]. Olejové filtry. Dostupné z www: <http://www.bawel.cz/distribuce-ferodo/nabidka-ferodo/filtry/olejove>.
- [3] Fabiaclub [online].: 2004 [2011-01-07]. Olejový microfilter. Dostupné z www: <http://fabiaclub-zaloha.skodahome.cz/198-olejovy-filtr-microfilter-pro-fabie>.
- [4] Hruža, J.: Zlepšování filtračních vlastností vláknenných materiálů, disertační práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2005. 81s.
- [5] Inovace [online].: 2008 [cit. 2011-03-05]. Nanovláknena materiál budoucnosti. Dostupné z www: <http://www.inovace.cz/for-high-tech/nanotechnologie/clanek/nanovlakna-material-budoucnosti/>.
- [6] Kotásková, R.: Analýza využitelnosti nanovláknenných filtrů v oblasti kapalinové filtrace pohonných hmot a olejů, diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2010. 75s.
- [7] Krejčí, T.: Mazání zážehových a vznětových motorů, bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 39s.
- [8] Leccos [online].: 2010 [cit. 2011-02-11]. Ostwaldův viskozimetr. Dostupné z www: <http://leccos.com/index.php/clanky/viskozimetr>.
- [9] Machinedesign [online].: 2009 [cit. 2011-02-18]. Multipass test. Dostupné z www: <http://machinedesign.com/content/iso-16889-multipass-test-circuit-0316>.
- [10] NanoTul [online].: 2008 [cit. 2011-03-05]. Vláknenné nanomateriály. Dostupné z www: <http://nano.tul.cz/tymy/nanovlakna>.
- [11] Oleje [online].: 2006 [cit. 2011-02-03]. Vlastnosti motorových olejů - základní funkce olejů. Dostupné z www: [http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju1](http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju1).
- [12] Oleje [online].: 2007 [cit. 2011-02-08]. Vlastnosti motorových olejů - detergenty a disperzanty. Dostupné z www: [http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju5](http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju5).
- [13] Oleje [online].: 2006 [cit. 2011-02-11]. Vlastnosti motorových olejů – viskozita. Dostupné z www: [http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju2](http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju2).

- [14] Oleje [online].: 2007 [cit. 2011-02-18]. Vlastnosti motorových olejů – nečistoty a saze v motorovém oleji. Dostupné z [www](http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju6): <[http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju6](http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju6)>.
- [15] Oleje [online].: 2008 [cit. 2011-02-21]. Vlastnosti motorových olejů – otěrové kovy. Dostupné z [www](http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju10): <[http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky\\_vlastnosti\\_oleju10](http://www.oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju10)>.
- [16] Růžičková, J.: Elektrostatické zvlákňování nanovláken, skripta TUL, 2004. 54s. ISBN 80-7372-066-3.
- [17] Techmagazín.: Den v technickém muzeu - moderní filtrační materiály pro bariérovou filtraci. Měsíčník pro technické obory, leden 2011, ročník 2, číslo 1, 58s. ISSN 1804-5413.
- [18] Wikipedia [online].: 2011 [cit. 2011-01-11]. Zubové čerpadlo. Excentrické čerpadlo. Dostupné z [www](http://cs.wikipedia.org/wiki/zubové_čerpadlo): <[http://cs.wikipedia.org/wiki/zubové\\_čerpadlo](http://cs.wikipedia.org/wiki/zubové_čerpadlo)>.
- [19] Wikipedia [online].: 2011 [cit. 2011-01-13]. Minerální olej. Dostupné z [www](http://cs.wikipedia.org/wiki/minerální_olej): <[http://cs.wikipedia.org/wiki/minerální\\_olej](http://cs.wikipedia.org/wiki/minerální_olej)>.
- [20] Wikipedia [online].: 2010 [cit. 2011-01-13]. Syntetický olej. Dostupné z [www](http://cs.wikipedia.org/wiki/syntetický_olej): <[http://cs.wikipedia.org/wiki/syntetický\\_olej](http://cs.wikipedia.org/wiki/syntetický_olej)>.
- [21] Wikipedia [online].: 2009 [cit. 2011-03-05]. Nanospider. Dostupné z [www](http://cs.wikipedia.org/wiki/nanospider): <<http://cs.wikipedia.org/wiki/nanospider>>.